

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE PROPUESTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN PLANTA PROCESADORA DE CACAO**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Mendiola A. David F.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, febrero de 2016

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE PROPUESTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN PLANTA PROCESADORA DE CACAO**

Tutor Académico: Ing. José Romero  
Tutor Industrial: Ing. Rafael Colmenarez

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Mendiola A. David F.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, febrero de 2016

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 25 de abril de 2016

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller David F. Mendiola A. titulado:

### **“DISEÑO DE PROPUESTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN PLANTA PROCESADORA DE CACAO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Simón Morales

Jurado



Prof. Alejandro González

Jurado



Prof. José Romero

Prof. Guía

## **DEDICATORIA**

*“La disciplina es la mayor virtud”*

Gloria a Dios, causa inmanente de todas las cosas.

Honor a mi familia:

Mi querido padre, Luis Francisco y mi adorada madre Alcira Marina

Mis hermanos Cristian, Víctor y Sergioluis (de mayor a menor).

Mis tías Juana y Marianela

Mis primas Pilar y Marie-Laëtitia.

Mis padrinos, Juanita Cornejo y Marco Araujo.

A mi abuela Aurelia.

## **RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer en primer lugar a los licenciados Matilde Estévez y Leonardo Betancourt, así como los ingenieros Rafael Colmenarez (Tutor Industrial - Gerente de planta) y José Romero (Tutor Académico) por sus diligencias conducentes a la realización de mis pasantías en la planta propiedad de la empresa Cacao Real C.A.

Extiendo mis agradecimientos a los profesores Ebert Brea, Raúl Arreaza, Wilmer Malpica, Mercedes Arocha, Carolina Regoli, Servando Álvarez y Yarinet Guevara, miembros de la Escuela de Ingeniería Eléctrica adscrita a la Facultad de Ingeniería de la UCV.

Ofrezco un reconocimiento a los Ingenieros Carlos Di Yorio y Jesús Antonio Acuña, profesionales en Automatización Industrial egresados de la UCV; su desinteresado apoyo ha resultado invaluable. En el mismo sentido agradezco al Ing. Gabriel Ceballos, Intendente Electro-mecánico de la planta procesadora de cacao.

Agradezco también a amigos y compañeros de estudio, que me han apoyado durante la carrera: Leonor Iglesias de Zapata, Dorimar Balza de Flores, Doriam Aguilar, Beriozka S. Rodríguez, Ángela Rodríguez, Katherine Vázquez, Juana Lara, Andrés Eloy Carrión, Marco Aurelio Lamón, Freddy Sandoval, Frencll Muñiz, Luis Guillermo Herrera, Carlos Báez, Aurelio Pacheco, Carlos Eduardo Chacón, Lenin Rodríguez, Rafael González, Efrén Alexander García, Félix Alejandro Martínez, Juan Marcano, Aníbal Montaña y Jean Carlos Juzga.

Finalmente, durante las pasantías he tenido el honor de trabajar con las licenciadas Merlis Ruiz, Marlene Berrios y Gilda Farinha; el intendente de planta Edgar Ramos y el señor Fermín, así como Edgar Mendoza y Nelginson Rada.

Gracias a todos....

**Mendiola A., David F.**

**DISEÑO DE PROPUESTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA, PARA LA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS CACAO REAL C.A., CON ACCESO REMOTO DE FORMA SEGURA DESDE INTERNET**

**Prof. Guía: Ing. José Romero. Tutor Industrial: Ing. Rafael Colmenarez. Tesis. Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. Institución: Cacao Real. Trabajo de grado. 2015. 137 + 56 páginas de Anexos.**

**Palabras claves:** Automatización; SCADA; Célula de Automatización; Seguridad en redes industriales; Industrial Ethernet.

**Resumen:** En este trabajo de grado se realizó una propuesta de diseño para un sistema SCADA para el proceso de producción automatizado, que se lleva a cabo en la planta industrial de la empresa procesadora Cacao Real C.A. Tras recabar información acerca del proceso de producción en la planta, se realizaron evaluaciones comparativas entre plataformas tecnológicas compatibles con el control existente basado en controladores para células, Siemens SIMATIC S7 300; una vez definida la tecnología a utilizar, se seleccionó del software disponible en el mercado WinCC.

Se presentan dos propuestas de ingeniería, una de bajo costo, que contempla la instalación de un sistema SCADA para la plataforma de automatización actual pero sin capacidad de extender su vida útil, mientras que la segunda que adopta el concepto de entorno de automatización totalmente integrada, involucra una modernización tecnológica flexible pero a mayor costo. Ambas propuestas están basadas en la red Industrial Ethernet e incorporan la implementación de mecanismos de apoyo a las políticas de seguridad para la plataforma, con el objeto de evitar que la instalación del sistema SCADA con acceso remoto, pueda dar origen a vulnerabilidades cuando se brinda servicio a clientes conectados desde redes inseguras.

# ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	
LISTA DE TABLAS Y CUADROS .....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xix
ACRÓNIMOS.....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. EL PROBLEMA .....	3
1.1 La Empresa.....	3
1.1.1 Planta.....	3
1.1.1.1 Zonificación y pulcritud.....	4
1.1.1.2 Estaciones de operador y líneas de producción .....	5
1.1.1.3 Gestión de potencia eléctrica .....	6
1.1.1.4 Características del sistema de potencia.....	7

1.1.2	Materia prima .....	8
1.1.2.1	El Cacaotero.....	8
1.1.2.2	Variedades tradicionales de cacao .....	8
1.1.2.3	Comercialización de granos de cacao .....	9
1.1.2.4	Tipo de cacao procesado en planta .....	9
1.2	Planteamiento del Problema .....	10
1.3	Objetivo General .....	11
1.4	Objetivos Específicos .....	11
1.5	Requerimientos.....	11
1.6	Organización de contenidos .....	12
CAPÍTULO II .....		15
2.	MARCO TEÓRICO .....	15
2.1	Telecomunicaciones en Entornos Empresariales .....	15
2.1.1	Redes y sistemas empresariales .....	15
2.1.2	Redes para transporte de datos.....	16
2.1.3	Integración de redes empresariales .....	17
2.1.3.1	Componentes para interconexión de redes .....	17
2.1.4	Protocolo IEEE 802.3 (Ethernet) y adaptaciones.....	18
2.1.4.1	Ethernet e integración de redes empresariales.....	19
2.1.4.2	Ethernet en redes a nivel de controladores .....	20
2.2	Sistemas de Automatización Industrial .....	20



2.2.1	Integración computarizada de la manufactura .....	20
2.2.2	Estándares ISA relacionados con CIM .....	21
2.2.3	Familias de protocolos para redes industriales.....	23
2.2.4	Fieldbus (IEC 61158) y compatibilidad.....	24
2.2.5	Tecnologías OPC .....	25
2.2.5.1	Arquitectura OPC Clásica.....	25
2.2.5.2	Arquitectura OPC UA.....	25
2.3	Seguridad en Sistemas SCADA .....	26
2.3.1	Origen de ataques informáticos.....	26
2.3.2	Establecimiento de prioridades .....	27
2.3.3	ISA 99/IEC 62443.....	28
2.4	Estándares OPC y seguridad .....	29
2.4.1	Seguridad en la arquitectura OPC Clásica .....	29
2.4.2	Seguridad en la arquitectura OPC UA .....	31
2.4.2.1	Capas OPC UA .....	32
CAPÍTULO III.....		34
3.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	34
3.1	El proceso productivo.....	34
3.1.1	Armarios para control manual del proceso .....	35
3.2	Automatización del proceso productivo.....	35
3.2.1	Salas de control .....	35

3.2.1.1	Sala de control de área blanca.....	35
3.2.1.2	Sala de control de área gris .....	36
3.2.2	Estaciones para la línea donde se procesa el grano de cacao .....	36
3.2.2.1	Estación de limpieza para granos vaciados.....	36
3.2.2.2	Estación para acondicionamiento de granos .....	37
3.2.2.3	Estación para remoción de cascarillas .....	38
3.2.2.4	Estación para tostado de granos.....	39
3.2.3	Estaciones para líneas que procesan derivados del cacao.....	41
3.2.3.1	Estación para tanques de licor .....	41
3.2.3.2	Estación para prensado de licor .....	41
3.2.3.3	Estación para filtrado de manteca.....	43
3.2.3.4	Estaciones para llenado de manteca y licor .....	43
3.2.3.5	Línea de polvo o estación para polvo de cacao .....	44
3.2.3.6	Estación para dosificado de modificadores lácteos .....	45
3.3	Condiciones de diseño .....	46
3.3.1	Controladores y estaciones de operador.....	46
3.3.1.1	Origen, cantidad y ubicación .....	46
3.3.2	Protocolos utilizados en planta.....	48
3.3.2.1	Otras estaciones agrupadas según sus características.....	51
3.3.2.2	Acercas de la estación de tostado .....	53
3.3.3	Configuraciones típicas utilizadas para estaciones en planta.....	55

3.3.4	Plataforma informática instalada en la empresa.....	56
CAPÍTULO IV .....		57
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	57
4.1	Recursos y herramientas de trabajo .....	57
4.1.1	Software utilizado .....	57
4.1.2	Hardware utilizado .....	58
4.2	Propuestas conceptuales descartadas.....	59
4.2.1	Primera propuesta exploratoria: CP advanced y Link Device .....	59
4.2.2	Segunda propuesta exploratoria: múltiples módulos CP .....	61
4.3	Actividades en planta .....	65
4.3.1	Instalación de un banco de pruebas.....	65
4.3.2	Migración a WinCC flexible 2008.....	66
4.3.3	Entrevista con representante de ventas .....	66
4.4	Presentación de parámetros de diseño .....	67
4.5	Comparación entre plataformas evaluadas.....	68
4.6	Comparación entre productos de software SIMATIC.....	70
CAPÍTULO V .....		73
5.	PROYECTO DE INGENIERÍA .....	73
5.1	Preliminares.....	73
5.1.1	Trasfondo del proyecto .....	74
5.1.2	Análisis de impacto.....	75

5.1.3	Delineamiento de propuestas .....	75
5.2	Exposición de propuestas .....	78
5.2.1	Propuesta económica.....	78
5.2.1.1	Estación para limpieza de granos.....	79
5.2.1.2	Estación para acondicionamiento de cascarilla.....	82
5.2.1.3	Estación para remoción de cascarilla.....	85
5.2.1.4	Estación para tostado .....	87
5.2.1.5	Estación para tanques de licor .....	91
5.2.1.6	Estación para prensado de licor .....	94
5.2.1.7	Estación para filtrado de manteca.....	97
5.2.1.8	Estaciones para llenado de producto en estado líquido .....	99
5.2.1.9	Estación llenado de cacao en polvo .....	102
5.2.1.10	Estación SCADA Maestra .....	104
5.2.1.11	Componentes de propuesta económica.....	106
5.2.2	Propuesta con renovación tecnológica.....	109
5.2.2.1	Reemplazos para controladores .....	109
5.2.2.2	Reemplazos para paneles .....	111
5.2.2.3	Componentes de propuesta con renovación tecnológica.....	114
5.2.3	Propuesta para seguridad de red.....	116
5.2.3.1	Cambios en la red empresarial.....	118
5.2.4	Diagrama de red para control de procesos .....	121

5.2.5	Puesta en marcha de las propuestas .....	123
5.3	Observaciones acerca de las propuestas .....	124
5.3.1	Propuesta económica.....	124
5.3.2	Propuesta con renovación tecnológica .....	124
5.3.3	Propuesta de seguridad.....	124
CONCLUSIONES .....		125
RECOMENDACIONES.....		128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		129
BIBLIOGRAFÍAS .....		131
GLOSARIO .....		135
ANEXOS .....		137

## LISTA DE TABLAS Y CUADROS

<b>Tabla 2.1:</b> Tecnologías para redes de datos. ....	16
<b>Tabla 3.1:</b> Resumen de equipos para automatización. ....	48
<b>Tabla 3.2:</b> Controladores S7-300. ....	49
<b>Tabla 3.3:</b> Protocolos de comunicación utilizados en planta. ....	52
<b>Tabla 3.4:</b> Estaciones donde la CPU incluye interfaz <i>PROFIBUS DP</i> . ....	52
<b>Tabla 3.5:</b> Estaciones con módulos de pesaje <i>SIWAREX U</i> . ....	53
<b>Tabla 3.6:</b> Estaciones con módulos de conexión. ....	54
<b>Tabla 4.1:</b> Hardware procurado por el pasante. ....	58
<b>Tabla 4.2:</b> Hardware procurado por la empresa. ....	58
<b>Tabla 4.3:</b> Comparativa entre ofertas basadas en Runtime. ....	68
<b>Tabla 4.4:</b> Arquitectura SCADA de cada oferta SIMATIC WinCC. ....	70
<b>Tabla 4.5:</b> SIMATIC WinCC y S7-300. ....	71
<b>Tabla 4.6:</b> Resultados de evaluación mediante MCDM. ....	71
<b>Tabla 4.7:</b> MCDM para selección de software SIMATIC WinCC. ....	72
<b>Tabla 5.1:</b> Hardware propuesta económica. ....	106
<b>Tabla 5.2:</b> Listado de licencias para Propuesta Económica. ....	107
<b>Tabla 5.3:</b> Listado con números de serie para módulos CPU. ....	109
<b>Tabla 5.4:</b> Módulos CPU en servicio actualizables a firmware 2.6. ....	110

<b>Tabla 5.5:</b> Módulos SIWAREX compatibles con TIA Portal.....	111
<b>Tabla 5.6:</b> Paneles SIMATIC HMI propuestos como reemplazo. ....	112
<b>Tabla 5.7:</b> Licencias para nuevos paneles. ....	113
<b>Tabla 5.8:</b> Módulos S7-300 propuestos como reemplazo.....	114
<b>Tabla 5.9:</b> Paneles SIMATIC HMI propuestos como reemplazo. ....	114
<b>Tabla 5.10:</b> Listado de licencias para propuesta con renovación tecnológica. ....	115
<b>Tabla 5.11:</b> Componentes de seguridad SCALANCE. ....	118
<b>Tabla 5.12:</b> Software de configuración para componentes SCALANCE. ....	118
<b>Cuadro 3.1:</b> Leyenda para Figura 3.2. ....	51
<b>Cuadro 5.1:</b> Software de ingeniería para de CPU 313C (5BE01) y CP IE (CX10)...	80
<b>Cuadro 5.2:</b> Asignación de ranuras en la estación para limpieza de granos. ....	80
<b>Cuadro 5.3:</b> Recursos para comunicación del CPU 313C (5BE01). ....	81
<b>Cuadro 5.4:</b> Recursos de comunicación del CP 343-1 (CX10). ....	81
<b>Cuadro 5.5:</b> Software de ingeniería para CPU 313C (5BE00) y CP IE (CX10). ....	82
<b>Cuadro 5.6:</b> Asignación de ranuras en la estación para acondicionamiento de granos. ...	84
<b>Cuadro 5.7:</b> Recursos para comunicación del CPU 313C (5BE00). ....	85
<b>Cuadro 5.8:</b> Asignación de ranuras en el bastidor para remoción de cascarilla. ....	86
<b>Cuadro 5.9:</b> Software de ingeniería para CPU 315-2DP (AG10) y CP (EX30).....	88
<b>Cuadro 5.10:</b> Asignación de ranuras en el bastidor central del tostador.....	89
<b>Cuadro 5.11:</b> Asignación de ranuras en el bastidor periférico del tostador. ....	90

<b>Cuadro 5.12:</b> Recursos de comunicación del CP IE 343-1 (EX30).....	90
<b>Cuadro 5.13:</b> Recursos para comunicación del CPU 315-2DP (AG10).....	91
<b>Cuadro 5.14:</b> Software de ingeniería (para configuración de equipos). .....	92
<b>Cuadro 5.15:</b> Asignación de ranuras en la estación para tanques de licor.....	92
<b>Cuadro 5.16:</b> Recursos para comunicación del CPU 314 (AF10). .....	93
<b>Cuadro 5.17:</b> Asignación de ranuras en la estación para prensado de licor.....	95
<b>Cuadro 5.18:</b> Asignación de ranuras en periferia de la prensa (sin cambios).....	96
<b>Cuadro 5.19:</b> Asignación de ranuras en la estación para filtrado de manteca. ....	98
<b>Cuadro 5.20:</b> Asignación de ranuras en estaciones para llenado de producto. ....	100
<b>Cuadro 5.21:</b> Asignación en el bastidor extendido para llenado de producto. ....	101
<b>Cuadro 5.22:</b> Asignación de ranuras en estación para llenado de cacao en polvo. .	103
<b>Cuadro 5.23:</b> Asignación en bastidor extendido para llenado de cacao en polvo. ..	103



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Líneas de producción. Fuente: elaboración propia.....	6
<b>Figura 2.1:</b> Nueve importantes componentes de una arquitectura CIM. ....	21
<b>Figura 2.2:</b> Estrategias de control y Jerarquía funcional ISA 95. ....	22
<b>Figura 2.3:</b> Diagrama simplificado para zonas de seguridad ISA 99.....	30
<b>Figura 2.4:</b> Modelo OSI y capas del modelo OPC UA.....	33
<b>Figura 3.1:</b> Etapas del proceso. Fuente: elaboración propia. ....	34
<b>Figura 3.2:</b> Ubicación de armarios y tableros con tecnología SIMATIC. ....	50
<b>Figura 3.3:</b> Configuraciones típicas para estaciones que han sido automatizadas utilizando la plataforma Siemens SIMATIC S7-300.....	55
<b>Figura 4.1:</b> Propuesta con dispositivo para enlace de datos.....	60
<b>Figura 4.2:</b> Diagrama de red donde los CP trabajan como Gateway. ....	64
<b>Figura 5.1:</b> Bastidor de la estación para limpieza de granos.....	79
<b>Figura 5.2:</b> Bastidor en la estación del Shellcon.....	82
<b>Figura 5.3:</b> Bastidor en la estación para remoción de cascarilla.....	86
<b>Figura 5.4:</b> Bastidores en la estación para tostado.....	88
<b>Figura 5.5:</b> Bastidor en la estación para tanques de licor. ....	91
<b>Figura 5.6:</b> Bastidor en la estación para prensado de licor. ....	94
<b>Figura 5.7:</b> Bastidor en la estación para filtrado de manteca.....	97

<b>Figura 5.8:</b> Bastidores en la estación para llenado de producto en estado líquido ....	99
<b>Figura 5.9:</b> Bastidores en estación para llenado de cacao en polvo .....	102
<b>Figura 5.10:</b> Red Empresarial actual.....	119
<b>Figura 5.11:</b> Red Empresarial propuesta.....	120
<b>Figura 5.12:</b> Red Industrial Ethernet propuesta para control de procesos. ....	122

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>A.C.</b>	Corriente alterna
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute
<b>BCIT</b>	British Columbia Institute of Technology
<b>CISCO</b>	Fabricante de componentes de red
<b>COVENIN</b>	Comisión Venezolana de Normas y Estándares
<b>E.M.</b>	Estación Maestra
<b>IANA</b>	Internet Assigned Numbers Authority
<b>ICANN</b>	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
<b>ICCO</b>	International Cocoa (Council) Organization
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task force
<b>ISA</b>	International Society of Automation
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>N°</b>	Número
<b>NFPA</b>	National Fire Protection Association
<b>PI</b>	PROFIBUS and PROFINET INTERNATIONAL
<b>UCAB</b>	Universidad Católica Andrés Bello
<b>UCV</b>	Universidad Central de Venezuela
<b>UNCTAD</b>	United Nations Conference on Trade and Development
<b>USB</b>	Universidad Simón Bolívar
<b>WCF</b>	World Cocoa Foundation

## ACRÓNIMOS

<b>ATS</b>	Automatic Transfer Switch
<b>CIM</b>	Computer Integrated Manufacture
<b>CIM-OSA</b>	CIM - Open System Architecture
<b>CIP</b>	Common Internet Protocol
<b>CSMA</b>	Carrier Sensing Multiple Access
<b>CSMA/CD</b>	CSMA - Collision Detection
<b>DCOM</b>	Distributed COM
<b>DCS</b>	Distributed Control System
<b>DMZ</b>	De-Militarized Zone
<b>ERP</b>	Enterprise Resources Planning
<b>Fieldbus HSE</b>	Fieldbus High Speed Ethernet
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>HTTP</b>	Hyper-Text Transfer Protocol
<b>HTTPS</b>	HTTP - secure
<b>ICS</b>	Industrial Control System
<b>IDS</b>	Intrusion Detection System
<b>IP</b>	Internet Protocol; IPv4 / IPv6.
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>MAC</b>	Media Access Control
<b>MES</b>	Manufacture Execution System
<b>Modbus TCP</b>	Modbus Transfer Control Protocol
<b>OLE</b>	Object Linking and Embedding
<b>OPC</b>	OLE for Process Control
<b>OPC A&amp;E</b>	OPC Alarms and Events
<b>OPC DA</b>	OPC Data Access
<b>OPC HDA</b>	OPC Historian Data Access
<b>OPC UA</b>	OPen Connectivity Unified Architecture
<b>OPC UA TCP</b>	OPC UA Transfer Control Protocol
<b>OPC XML DA</b>	OPC XML Data Access
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnection
<b>PLC</b>	Programable Logic Controller
<b>PROFIBUS DP</b>	PROFIBUS Decentralised Peripherals
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Acquisition
<b>SMTP</b>	Simple Mail Transmission Protocol
<b>SNMP</b>	Simple Network Management Protocol

<b>SOAP</b>	Simple Object Access Protocol
<b>UDP</b>	Universal Datagram Protocol
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>VLAN</b>	Virtual LAN
<b>VPN</b>	Virtual Private Network
<b>WAN</b>	Wide Area Network
<b>WS Security</b>	Web Services Security
<b>XML</b>	Extensible Markup Language

## INTRODUCCIÓN

La empresa Cacao Real ha solicitado la elaboración de un proyecto en el cual, tras estudiar las características del sistema de control existente, se presenten propuestas de ingeniería donde se expongan los recursos y la metodología necesaria para instalar un **sistema SCADA** en la planta procesadora de cacao ubicada en el estado Miranda.

La instalación de un sistema SCADA en la planta procesadora de cacao obedece al siguiente objetivo de la organización: “aumentar la eficiencia a través de mejoras en la coordinación entre las distintas etapas del proceso productivo, gracias a indicadores de progreso para cada línea de producción, generados a partir de datos adquiridos rápida y oportunamente”.

Cada etapa automatizada del proceso productivo desarrollado en planta, ha sido provista de medios que garanticen su operatividad, independientemente de las etapas restantes; este diseño busca minimizar el impacto económico resultante de posibles fallas.

Gran parte del proceso productivo se lleva a cabo por lotes y está conformado por seis (06) **líneas de producción**<sup>1</sup>. La manufactura de derivados del cacao, tales como: polvo de cacao, manteca de cacao, y licor de cacao; involucra el tránsito de material por hasta tres distintas líneas, lo cual requiere en promedio de setenta y dos (72) horas de procesamiento.

En las dos (02) **salas de control** existentes se ha instalado cableado estructurado, para establecer una *red Ethernet* destinada a la interconexión entre controladores.

---

<sup>1</sup> La Figura 1.1, provee un esquema donde se provee detalle acerca de la relación que existe entre estas líneas.

En piso de control, una sub-red LAN que forma parte de la red LAN corporativa, provee acceso a **Internet** para las consolas de trabajo (computadores de escritorio) asignadas a los intendentes.

Una vez funcionando la red a nivel de controladores, esta dotará a la plataforma de automatización y control con un punto de acceso común hacia el sistema SCADA; disponer de acceso centralizado a los componentes para automatización<sup>2</sup> instalados en los armarios eléctricos ubicados en piso de control, facilitará las tareas de servicio y programación de estos equipos.

En los planos de armarios eléctricos, en los cuales se encuentran instalados componentes para automatización, se evidencia que estuvo en funcionamiento un sistema para servicio remoto cuyo componente principal fue un equipo Siemens SIMATIC TeleService® dedicado a atender a cada uno de los controladores Siemens SIMATIC S7-300®.

Entre los inconvenientes que presentó esta plataforma, están: el uso de tecnología Dial-Up (consultar en [1] el capítulo 2, página 25) cuya reducida tasa de transmisión no soporta el acceso simultáneo a más de un equipo y resulta en altos costos operativos, proporcionales al costo y duración de una llamada de larga distancia internacional.

Es deseable que la arquitectura de red propuesta, brinde compatibilidad con tecnologías para el servicio remoto de componentes Siemens SIMATIC®; de este modo, cuando la empresa actualice el hardware Siemens SIMATIC TeleService®, el sistema para servicio remoto y el sistema SCADA podrán hacer uso compartido del mismo medio físico de transmisión.

---

<sup>2</sup> Tanto controladores lógicos programables como sus interfaces de operador

# CAPÍTULO I

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1 La Empresa

Cacao Real C.A. es una empresa venezolana fundada en 2006, durante la puesta en marcha de su planta procesadora, se contó con la participación de las principales universidades del país; entre ellas UCV, USB y UCAB.

Al principio solo se fabricaron productos derivados del cacao (manteca, licor y polvo); durante el año 2009 se incorporó a planta, una línea de producción para dosificado de modificadores lácteos, con lo cual fue posible comercializar bebidas achocolatadas en polvo. Como dato de referencia acerca de la *capacidad de procesamiento instalada*, anualmente se consumen aproximadamente 4.200 toneladas de materia prima.

La meta de la empresa es «colocar productos de excelente calidad en mercados altamente competitivos tanto a nivel nacional como a nivel internacional, teniendo como guía los lineamientos que rigen una actividad agrícola responsable y a plena conciencia de los aspectos sociales que motivan el desarrollo y bienestar de los involucrados en nuestra gestión».

#### 1.1.1 Planta

La planta procesadora de cacao, se encuentra sobre una parcela de 8.305 m<sup>2</sup> (metros cuadrados) la cual está ubicada en el municipio Zamora, entre las ciudades de Guarenas y Guatire pertenecientes al estado Miranda; la dirección es “sector *Vega Arriba*, calle 3, detrás del *Centro Comercial La parada*”.

Dado que la estructura tiene varios niveles, el área total de construcción resulta mayor que la parcela (alcanzado los 9.633 m<sup>2</sup>); las instalaciones de planta incluyen: estacionamiento, vestuarios para el personal, lavandería, auditorio, comedor, cocina,



oficinas; depósitos para materia prima, producto terminado, y desechos de la línea de producción; zona para carga y descarga para productos; galpones para caldera y compresores, torre de refrigeración, nave de producción, laboratorio; talleres de mantenimiento eléctrico y mecánico.

El edificio administrativo aloja a la *Escuela de Chocolate y Confitería Cacao Real*.

#### 1.1.1.1 Zonificación y pulcritud

El tránsito de la materia prima a lo largo del proceso productivo se ha zonificado, según el nivel de pulcritud necesario, para garantizar la salubridad e inocuidad de los alimentos manipulados.

Se define una *Área Gris* en la cual, aun siendo permisible el contacto directo con la materia prima, este debe ser minimizado; también se define una *Área Blanca* con requisitos de pulcritud más exigentes que los de área gris, donde el personal debe usar gorro, guantes e incluso tapa boca.

En las estaciones de la línea para procesamiento del grano de cacao, debe mantenerse estricta limpieza; por lo cual pertenecen a área gris. En las estaciones donde se manipula producto terminado, el contacto directo con los alimentos está absolutamente prohibido y se catalogan como área blanca.

Ninguno de los sistemas de automatización involucra el concepto de seguridad intrínseca<sup>3</sup>; las áreas potencialmente explosivas, utilizan cajetines y armarios sellados para componentes y empalmes eléctricos (en consonancia con IEC 61241-1).

En planta se han dispuesto señales indicadoras, del riesgo asociado a cada área de trabajo, estas utilizan el código propuesto por la norma estadounidense NFPA 704 [2] (de acuerdo con el Anexo de tipo informativo “A” correspondiente a la norma COVENIN 3060:2002); también se provee señalización adicional.

---

<sup>3</sup> Definido por los estándares internacionales IEC 60079-27

### 1.1.1.2 Estaciones de operador y líneas de producción

La plataforma de automatización está conformada por las estaciones de operador y el armario eléctrico de control correspondiente a cada una; gracias a la automatización de maquinarias especializadas, se requiere en promedio un operador por estación.

En cuanto a lo relacionado con la alimentación de potencia eléctrica y procesamiento de señales, el funcionamiento de cada armario eléctrico de control es independiente.

Aunque a lo largo de las seis líneas de producción instaladas en planta, se han dispuesto componentes de hardware encargados de la automatización de sub-procesos que están relacionados con la manufactura, esta automatización resulta parcial; ninguna de las líneas de producción ha sido automatizada de principio a fin.

El control de maquinarias y equipos que conforman una estación automatizada del proceso productivo, se lleva a cabo desde el piso de controladores<sup>4</sup>; la configuración típica involucra: un armario para componentes eléctricos y electrónicos de control, así como una pantalla gráfica cuya función es servir como panel de operador.

Las estaciones se han implementado siguiendo una estrategia de control centralizado[3, p. 293]; para cada una de ellas, se utiliza un panel de operador asignado a un *controlador lógico programable* (PLC), el panel provee una *interfaz hombre-máquina* (HMI) capaz de desplegar gráficos interactivos.

Las pantallas que conforman los **proyectos HMI**, incluyen indicadores e instrumentos propios de un tablero eléctrico de control; en aquellos casos donde la HMI se ejecuta desde un computador personal, este se instala en un cubículo ubicado en sala de control.

---

<sup>4</sup> En este trabajo, la expresión “piso de controladores” se refiere a aquel nivel del edificio donde se han instalado *estaciones de operador* desde las cuales se verifica la apropiada ejecución de cada estación automatizada.

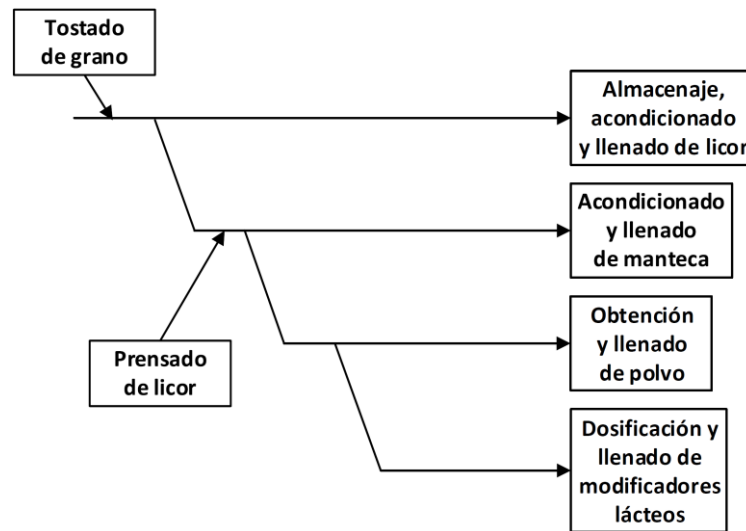


Figura 1.1: Líneas de producción. Fuente: elaboración propia.

Los paneles HMI (de operador) son una herramienta versátil que permite dar respuesta oportuna a eventos y alarmas, llevar a cabo ajustes sobre los récipes y ejecutar pruebas para diagnóstico de equipos PLC.

Cada una de las estaciones de operador que conforman el sistema de producción, ha sido instalado de manera tal que una salida de servicio no programada (de un transformador principal para distribución de potencia eléctrica, o del transformador instalado en un tablero eléctrico para control) tenga mínimo impacto sobre el estado del proceso productivo global.

### 1.1.1.3 Gestión de potencia eléctrica

Hay dos fuentes principales a partir de las cuales se obtiene potencia eléctrica, durante el transcurso de las pasantías se ha instalado una fuente alternativa al Sistema Eléctrico Nacional; esta última, consiste en un **grupo electrógeno** destinado a hacer frente a las caídas de éste servicio.

Aunque la capacidad de la planta generadora a diésel está limitada a 300 kW/h, se proyecta instalar una capacidad de generación suficiente para garantizar el suministro de potencia eléctrica a equipos cuyo tiempo de parada es mínimo; de esta forma se

pretende evitar que caídas del servicio eléctrico, interrumpen la producción y/o causen daños a materia prima o equipos tales como motores y bombas.

Para transferir cargas del servicio eléctrico hacia la planta generadora, se emplea un equipo *conmutador automático de cargas* (ATS) el cual está instalado en su propio armario eléctrico, ubicado en el cuarto eléctrico de control. El equipo ATS de tecnología ASCO – Emerson, es capaz de detectar caídas en el servicio eléctrico y activar como respuesta, la señal de arranque para el generador.

La operación de la planta procesadora aún no es independiente del sistema eléctrico, y no está prevista una futura autosuficiencia energética; sin embargo, a partir del año 2014 (de conformidad con la “Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico”, y la “Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía”) la empresa ha proyectado mejoras y adiciones a su sistema para distribución de potencia<sup>5</sup>.

Se estima que al cierre del conjunto de proyectos enfocados en la optimización de la gestión de energía eléctrica, la empresa pueda hacer frente a las fallas en el servicio eléctrico, de forma tal que su impacto en los procesos se vea minimizado.

#### 1.1.1.4 Características del sistema de potencia

Se utiliza una *topología en estrella* para suministrar potencia eléctrica a las líneas de producción instaladas en planta, de forma tal de mantener un flujo de potencia independiente.

*Circuitos de alta tensión* (480 V en corriente AC) transmiten potencia eléctrica hacia los armarios eléctricos instalados para cada estación de operador; en los tableros de control ahí contenidos, se disponen transformadores e inversores con los cuales alimentar la lógica de control y componentes del sistema eléctrico que dan servicio a maquinarias y equipos.

---

<sup>5</sup> En función de esto, se ha instalado un banco de condensadores, cuyo fin es mejorar el factor de potencia

La *puesta a tierra* emplea cuatro barras de cobre fundido, a las cuales se aplicó soldadura exotérmica para (utilizando cable de cobre desnudo calibre 2/0) establecer una configuración de doble triángulo equilátero; a estas barras principales, se conectan las barras destinadas a proveer rutas para descarga a tierra, que parten de los dos tableros principales dedicados a administrar el flujo de potencia eléctrica hacia planta.

## **1.1.2 Materia prima**

### 1.1.2.1 El Cacaotero

De nombre científico *Theobroma Cacao L.* (“alimento de los dioses”) es una planta arbórea de hoja perenne, que puede llegar a alcanzar entre seis y doce metros. El fruto es una baya ovoide conocida como mazorca, con cuyos granos procesados se fabrica el chocolate.

### 1.1.2.2 Variedades tradicionales de cacao

Se denomina *cacao criollo* a aquellos cacaoteros cuya semilla posee un intenso aroma frutal; plantas con estas cualidades son cultivadas a lo largo de centro y sur américa. Los mayores inconvenientes del cacao criollo son: su bajo rendimiento, y su fragilidad al ambiente.

Con respecto del cacao trinitario y criollo, el *cacao forastero*, ofrece mayor resistencia (al clima y los patógenos); son la variedad más productiva, pero su grano es oscuro y resulta en un chocolate poco aromático, muy amargo. El uso del cacao forastero en la industria alimenticia, está más extendido que el de las otras dos variedades.

La hibridación entre el cacao criollo original y el cacao forastero, recibe por nombre *cacao trinitario*. Los frutos de estas plantas son más aromáticos que los del cacao Forastero; incluso comparadas con el cacaotero criollo, la hibridación provee un nivel de resistencia apropiado ante los embates del clima.

### 1.1.2.3 Comercialización de granos de cacao

El comercio de cacao en Venezuela se rige por la Norma Venezolana COVENIN 50:1995 “Granos de cacao (2<sup>da</sup> revisión)” [4]; la sección tercera de esta norma, define *cacao fino de primera*, cacao fino de segunda, así como otros términos asociados con la industria cacaotera.

La organización del concilio internacional del cacao *Organización Internacional del Cacao* (ICCO) coordina bajo el auspicio de la UNCTAD, a los países productores y consumidores con el fin de coordinar políticas conjuntas<sup>6</sup>.

En el más reciente Acuerdo Internacional del Cacao (séptimo acuerdo, publicado el año 2010) Venezuela figura como miembro participante de la ICCO bajo el rol de país exportador; el período de validez para este acuerdo es de diez años.

### 1.1.2.4 Tipo de cacao procesado en planta

De acuerdo con la clasificación comercial tradicional y con la Segunda revisión de la norma Granos de cacao; la materia prima procesada en planta, consiste en granos de cacao trinitario de segunda (sin fermentar) provenientes en su mayoría del estado Miranda.

---

<sup>6</sup> En la formulación del plan del cacao, participan incluso empresas fabricantes de chocolates.

## 1.2 Planteamiento del Problema

La planta procesadora de alimentos propiedad de la empresa Cacao Real C.A., dispone de instalaciones provistas con maquinaria propia de una molienda para grano de cacao; se han instalado también líneas para dosificación y llenado, tanto de productos derivados del cacao como de preparados para bebidas achocolatadas.

No se ha instalado un *sistema de control industrial* (ICS) con alcance de planta; sin embargo, varios procesos productivos gozan de cierto nivel de automatización, provisto mediante *controladores lógicos programables* (PLC). Tras ocho años desde su fundación y a seis años de su puesta en marcha, la empresa ha considerado necesario actualizar la plataforma para automatización.

Varios motivos hacen que esta actualización resulte cada vez más apremiante, durante el periodo 2014-2015, los sistemas operativos Microsoft necesarios para dar soporte al software utilizado en múltiples componentes electrónicos de la plataforma de automatización, fueron declarados obsoletos (tiempo después de lo planificado por su ciclo de vida); aquellos componentes que utilizan los sistemas operativos discontinuados, ya han sido descatalogados y su contrato de soporte vence antes o durante el año 2020.

Tomando en cuenta las características de la plataforma de control existente, la Gerencia de Planta se ha propuesto establecer las fundaciones de un futuro ICS; para lo cual ha solicitado el diseño de **“un sistema supervisor, con alcance limitado a las líneas de producción automatizadas con tecnología SIMATIC S7-300, el cual debe estar basado en tecnologías SCADA”**.

### 1.3 **Objetivo General**

Diseño de propuesta para implementación de un sistema SCADA, para la planta procesadora de alimentos Cacao Real C.A., con acceso remoto de forma segura desde Internet.

### 1.4 **Objetivos Específicos**

- Levantar información acerca de la empresa, el proceso productivo y las estrategias de control implementadas.
- Documentar alternativas comerciales disponibles para resolver el problema técnico planteado.
- Presentar ante la empresa posibles soluciones para la implementación de un sistema SCADA.
- Seleccionar alguna de las alternativas planteadas.
- Elaborar un diseño conceptual basado en la alternativa seleccionada.
- Presentar el Proyecto de Ingeniería.

### 1.5 **Requerimientos**

Los requerimientos para el sistema SCADA solicitado han sido clasificados como obligatorios y suplementarios; son requerimientos obligatorios: proveer medios para el acceso centralizado a datos originados en piso de producción, tanto desde clientes conectados a la red LAN [3, p. 303] empresarial, como desde clientes conectados a redes WAN remotas (a través de Internet) tomando en cuenta las medidas de seguridad pertinentes.

La empresa ha propuesto además, como requerimiento suplementario, que el sistema SCADA provea cuanto sea necesario para: la administración centralizada de *recetas*



desde las estaciones de supervisión, y el acceso en línea a los equipos dispuestos en piso de controladores<sup>7</sup>.

Trabajar para satisfacer estos últimos requerimientos resulta una tarea razonable, ya que la tendencia en los sistemas SCADA disponibles en el mercado, es incluir funcionalidades propias de sistemas que controlan la manera en que se ejecuta el proceso productivo, así como funcionalidades propias de sistemas dedicados a dar servicio remoto a componentes del sistema de automatización.

## 1.6 Organización de contenidos

El segundo capítulo «Marco teórico», expone primero definiciones relacionadas con las telecomunicaciones en entornos empresariales; posteriormente se trata el tema de la integración de sistemas mediante redes Ethernet. Es oportuno mencionar que a lo largo de este documento, enfocado en redes Ethernet para entornos industriales, la capa física siempre consiste en un cableado eléctrico para transporte de señales.

Posteriormente se trata el marco de trabajo conceptual, propuesto por ISA, para los sistemas de automatización industrial y se mencionan las familias de protocolos industriales. Al final de la sección 2.2 se discute brevemente acerca del estándar Fieldbus [5, p. 2] y las tecnologías OPC.

La sección 2.3 trata el tema de la seguridad en sistemas SCADA, estableciendo primero su origen y definiendo después el orden de prioridades recomendado para la protección de redes industriales; al final de esta sección se discute el protocolo ISA 99 (IEC 652443) [6]. Finalmente la sección 2.4 aborda el tema de la seguridad; primero en el marco de la arquitectura propuesta por las especificaciones OPC clásicas [7] [8, Cap. 4] y posteriormente en el marco de la arquitectura propuesta por OPC UA (IEC 62541) [9] [10] [11].

---

<sup>7</sup> La ventaja del acceso en línea es que para realizar tareas de ajuste, mantenimiento y diagnóstico, no se requiere la presencia física de personal calificado.

Al principio del tercer capítulo «Levantamiento de información» se describe el proceso productivo llevado a cabo en la planta procesadora de cacao; en la sección 3.2 se han descrito, estación por estación, aquellos equipos relacionados con la automatización de procesos.

En las condiciones de diseño, expuestas en la sección 3.3, se exponen listados de equipos que son resultado del levantamiento de información acerca de la planta, los protocolos utilizados en planta, las configuraciones típicas encontradas en las estaciones automatizadas con tecnología Siemens SIMATIC S7-300, y la plataforma informática instalada en la empresa.

El capítulo 4 «Presentación de resultados» empieza por mencionar los recursos y las herramientas de trabajo (sección 4.1) y las propuestas conceptuales exploratorias (sección 4.2).

La sección 4.3 describe las actividades llevadas a cabo en planta (instalación de un banco de pruebas, migración a WinCC flexible 2008 y entrevista con representante de ventas).

En la sección 4.4, que ofrece una breve introducción a los parámetros de diseño [12], se define el rol asumido por la empresa en el marco de este proyecto; los listados para los cuatro tipos de parámetros de diseño empleados, forman parte del Anexo N° 2.

Las secciones 4.5 y 4.6 presentan los resultados de la comparación, primero entre plataformas y después entre arquitecturas de software; partiendo de estos resultados (tras exponer a la empresa los puntos a favor y los puntos en contra de: los entornos Runtime, los estándares OPC y de la integración vertical) la empresa llevó a cabo la selección entre las alternativas evaluadas.

En este tomo se incluye un quinto capítulo titulado «El proyecto de ingeniería». Este capítulo empieza con una presentación de la forma como se han estructurado las propuestas, después se proveen detalles preliminares (trasfondo del proyecto, análisis de impacto y delineamiento de propuestas).

En el trasfondo del proyecto, (sub-sección 5.1.1) se exponen los requerimientos para el sistema SCADA que derivan de la actividad productiva llevada a cabo en planta; la sub-sección 5.1.2, ofrece en un breve análisis de impacto y en 5.1.3 se delinear las propuestas.

La sección 5.2 está dedicada a exponer las propuestas; en la sub-sección 5.2.1, la descripción de la *propuesta económica* incluye una descripción detallada de los componentes de red (dedicados al proceso de adquisición de datos) para cada estación, estos equipos son compatibles con ambas propuestas. En la sub-sección 5.2.2 se expone la *propuesta con renovación tecnológica*.

Las restantes sub-secciones del Capítulo 5 ofrecen información acerca de la *propuesta para seguridad de red* (sub-sección 5.2.3) y de la red para control de procesos (sub-sección 5.2.4); lo presentado en ambas sub-secciones es válido tanto para la propuesta económica como para la propuesta con renovación tecnológica.

En la sub-sección 5.2.4 se ofrece una breve guía para poner en marcha el sub-sistema para adquisición de datos, en esta también se citan dos documentos con información clave para la puesta en marcha de una red Siemens SIMATIC NET basada en Industrial Ethernet y securizada mediante un dispositivo SCALANCE S.

Finalmente en la sección 5.3 se hacen observaciones acerca de cada una de las propuestas expuestas.

*Nota acerca de las atribuciones:*

Todos los cuadros presentados son de elaboración propia, en las tablas y figuras se incluye el autor y/o la fuente de información.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Telecomunicaciones en Entornos Empresariales

##### 2.1.1 Redes y sistemas empresariales

Se denomina *red* a un conjunto de elementos organizados para lograr un fin determinado<sup>8</sup>; un *sistema* es una red tal que ninguno sus participantes podría alcanzar, por sí mismo, el objetivo que se pretende alcanzar con su diseño.

Siempre que todos los componentes de red sean propiedad de la misma empresa, al conjunto formado por la infraestructura que da soporte a las redes para comunicaciones y equipos participantes (en sistemas que utilizan los recursos que estas proveen) se le denomina *Red Empresarial*; el fin de estas redes es servir como herramienta para la implementación de mejoras logísticas.

El término red empresarial abarca a todas las redes propiedad de una misma empresa; por lo tanto, en una red empresarial pueden coexistir múltiples plataformas tecnológicas. Ejemplo de dos sub-redes que típicamente forman parte de una red empresarial son las redes para telefonía y redes para informática.

En algunos casos resulta imposible establecer enlaces de comunicación entre redes lógicas o físicamente incompatibles; aun cuando en una empresa se despliegan múltiples sistemas (compatibles solo con algunas redes específicas) el término “red empresarial” hace referencia a todos los activos de hardware y/o de software para comunicaciones.

---

<sup>8</sup> De acuerdo al Diccionario de la Lengua Española, editado por la Real Academia Española

### 2.1.2 Redes para transporte de datos

La evolución veloz y sostenida que han experimentado las **redes informáticas** (dedicadas a facilitar el flujo de información) entre estaciones de trabajo basadas en computadores, se ha visto impulsada por la necesidad de establecer canales de comunicación, entre la gran cantidad de estaciones de trabajo basadas en tecnologías compatibles con la arquitectura IBM-PC, instaladas en entornos empresariales.

Con el fin de aumentar la eficiencia durante la transmisión digital de datos, se han desarrollado toda una serie de tecnologías que resultan de gran impacto para la automatización industrial, en la Tabla 2.1 se listan algunas.

Tabla 2.1: Tecnologías para redes de datos.

<b>Tecnología</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Característica</b>
<i>Transmisión mediante cable paralelo</i>	Bus punto a punto	Permiten aumentar el ancho de banda disponible para comunicaciones entre dos interlocutores
<i>Esquemas de arbitraje para acceso al medio</i>	Buses multi-nodo y comunicación serial semi-duplex	Permiten reducir costos asociados con las canalizaciones de cableado y optimizan el uso de ancho de banda
<i>Codificación de datos</i>	Redundancia y compresión	Ofrecen una mayor probabilidad de lograr una interpretación apropiada de los datos recibidos
<i>Empaquetado de datos</i>	Redes conmutadoras de paquetes	Permiten realizar ajustes oportunos en la ruta que deben recorrer los datos con el fin de lograr una constante optimización de la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos provistos por el medio de transmisión instalado

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.3 Integración de redes empresariales

Para simplificar la integración de múltiples sub-sistemas, en un *sistema de control industrial* (ICS), es usual recurrir al uso exclusivo de protocolos pertenecientes a plataformas tecnológicas de un mismo fabricante o consorcio.

A nivel de controladores, la integración de sistemas para automatización se lleva a cabo mediante *sistemas de control distribuido* (DCS); cuando la integración de sistemas para automatización se lleva a cabo mediante sistemas informáticos, se trabaja con sistemas para *control mediante la supervisión a través de la adquisición de datos* (SCADA).

Tanto los sistemas SCADA como los DCS contemplan el uso de buses industriales; algunos de estos buses están certificados como tecnología Ethernet o Fieldbus, la certificación garantiza en cierta medida, la compatibilidad con plataformas ICS.

#### 2.1.3.1 Componentes para interconexión de redes

Entre las ventajas que ofrecen las redes Ethernet, está la posibilidad de establecer una interconexión sencilla entre redes informáticas y redes industriales. Para redes Ethernet están disponibles varios tipos de **enlace de redes** (pasarelas, gestores y puentes) [13, pp. 318–320].

Las *Pasarelas* (puertas de enlace) transcriben tramas de un protocolo a otro; los *Gestores* (proxy) además de transcribir, traen integrados mecanismos para la programación de su agenda de trabajo.

Los *puentes de red* transcriben entre esquemas para direccionamiento; así, direcciones de red local pueden ser sustituidas por direcciones compatibles con redes externas.

#### 2.1.4 Protocolo IEEE 802.3 (Ethernet) y adaptaciones

El *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos* (IEEE) inició en 1980, el desarrollo de la familia de estándares IEEE 802 dedicados a redes para transporte de datos digitales que soportan paquetes de longitud variable.

El estándar IEEE 802.3 [14] [15] fue publicado en 1983; en este se proponen el medio físico de transmisión y el control de acceso al medio a ser utilizado en redes Ethernet.

La tecnología Ethernet permite una transmisión de datos cada vez más económica y veloz; mediante extensiones y/o modificaciones sobre las especificaciones *Ethernet II* (publicadas en 1982) se han implementado múltiples mejoras.

El estándar IEEE 802.3i propuesto el año 1990, incluye una serie de provisiones necesarias para la transmisión de datos mediante cable de par trenzado sin apantallar<sup>9</sup>; esto ha representado un hito, debido a la gran reducción en costos asociados con el medio físico de transporte.

Los computadores personales conectados a Internet, son capaces de alcanzar tasas de transmisión de hasta 10 Mbit/s (1,25 MB/s) cuando operan en modo 10BASE-T, y de hasta 100 Mbit/s (12.5 MB/s) cuando operan en modo 100BASE-TX<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> Más económico que la fibra óptica y el cable coaxial propuesto en especificaciones previas.

<sup>10</sup> 10 BASE-T se define en IEEE 802.3i, y 100 BASE-TX en IEEE 802.3u-1995, ambos transmiten utilizando cable de par trenzado; IEEE 802.3u se conoce también como “Fast Ethernet”

#### 2.1.4.1 Ethernet e integración de redes empresariales

Entre las ventajas que ofrece el uso de redes Ethernet, para la integración de sistemas empresariales, está su capacidad para lograr que paquetes cuyas tramas tienen longitud y estructura diversas compartan una misma infraestructura; puentes de red y enrutadores administrables, resultan ser una valiosa herramienta cuando se requiere un ajuste fino del flujo de paquetes.

En una red empresarial, los participantes pueden acceder a repositorios de datos participantes de una red LAN empresarial y/o de participantes de redes WAN privadas (propiedad de la empresa)<sup>11</sup>.

Bajo contrato con empresas proveedoras de acceso a Internet, un participante de la LAN administrativa perteneciente a cualquier empresa, puede acceder a servidores instalados en redes LAN externas (o incluso WAN) cuya existencia es de dominio público.

Vía Internet es posible establecer enlaces de comunicación, desde cualquier parte del mundo, con un controlador (participante de una red para Ethernet Industrial) o con una cámara de seguridad; para esto es necesario disponer de permisos de acceso suficientes y de la ubicación de red asignada al equipo.

---

<sup>11</sup> Cuya existencia no tiene por qué ser de dominio público.



#### 2.1.4.2 Ethernet en redes a nivel de controladores

En entornos industriales, la adopción de protocolos basados en Ethernet<sup>12</sup> facilita la integración en sistemas informáticos [16, pp. 391–401], que operan sobre redes conmutadoras de paquetes, de equipos tales como: controladores, computadores industriales e incluso dispositivos inteligentes, capaces de operar sin supervisión humana directa por largos periodos (diseñados para su instalación en campo).

Empresas líderes en el área de la instrumentación y control automático, tales como Siemens, Schneider Electric y Allen Bradley, han propuesto protocolos industriales basados en Ethernet.

Para cierto tipo de aplicaciones, resulta absolutamente indispensable satisfacer requerimientos estrictos para el tiempo de entrega; en redes Ethernet, tan solo mantener un tiempo de entrega consistente durante cada enlace de datos, resulta ser una tarea sumamente compleja, la cual involucra el registro del tráfico para su análisis estadístico y la segregación de paquetes.

Es justamente la naturaleza no determinista<sup>13</sup> de Ethernet, la principal dificultad para su adopción en sistemas para automatización a nivel de campo y controladores.

## 2.2 Sistemas de Automatización Industrial

### 2.2.1 Integración computarizada de la manufactura

Los sistemas utilizados en la industria de la automatización tienen cada vez un mayor alcance, esto se hace posible debido al aumento exponencial en la capacidad de los procesadores lógicos digitales y de las unidades centrales de procesamiento para

---

<sup>12</sup> Por ejemplo: Industrial Ethernet (IE) y PROFINET, desarrollados por Siemens; Ethernet/IP (Industrial Protocol) desarrollado por Allen Bradley; Modbus TCP y Fieldbus HSE.

<sup>13</sup> Que hace imposible predecir con exactitud el tiempo que le tomará a un paquete llegar a su destino; sin embargo, algo que resulta mucho peor es la imposibilidad de asegurar que un paquete emitido arribará alguna vez a su destino.

computadores; otro factor a favor de esta tendencia, es el aumento en la capacidad de almacenamiento integrable en equipos electrónicos.

El concepto de *Integración computarizada de la manufactura (CIM)* [17] propone el establecimiento de una arquitectura para empresas manufactureras, en la cual métodos de la informática, sean utilizados para coordinar sistemas encargados de asistir en la gestión de procesos industriales. El objetivo de una *Arquitectura CIM* es organizar la información generada por cada uno de los procesos llevados a cabo en las empresas.

El marco de trabajo propuesto para CIM engloba necesariamente a sistemas para apoyo a la producción, los cuales a su vez pueden incluir datos provenientes de sistemas SCADA; en la siguiente figura se ilustra el lugar que ocupan los sistemas informáticos de producción en el marco de trabajo CIM.

### 2.2.2 Estándares ISA relacionados con CIM

Aunque los sistemas SCADA son sub-sistemas para manufactura que forman parte de un ICS, estos pueden implementar funcionalidades propias de *Sistemas para control de operaciones (MES)*.

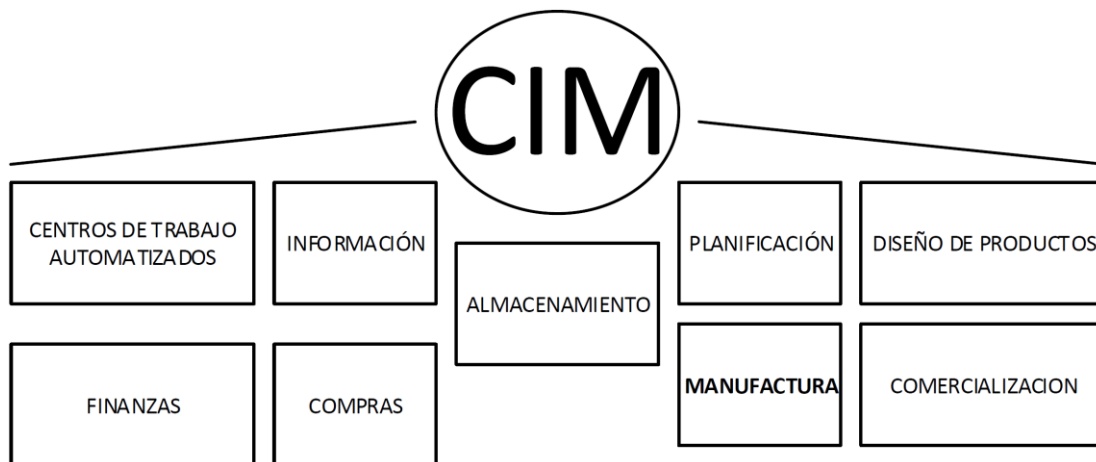


Figura 2.1: Nueve importantes componentes de una arquitectura CIM.  
Elaboración propia, basado en la Figura 1.2 “Major elements of a CIM system”, de [18].

Gracias a la ubicuidad de las redes basadas en Ethernet, la fabricación industrial asistida por computador (mediante propuestas tecnológicas tales como las especificaciones OPC UA<sup>14</sup>) facilita la interacción entre los ICS y sistemas a nivel estratégico corporativo<sup>15</sup>; sin embargo, la arquitectura de un sistema CIM no debiera permitir por ejemplo que cualquier servicio de red pueda brindar acceso a controladores industriales, desde redes a nivel de planificación logística.

La *Asociación Internacional para la Automatización (ISA)* proporciona estándares que guían en la implementación de sistemas CIM. En lo referente a la automatización de procesos industriales, la ISA ha publicado normas tales como ISA 88 e ISA 99 (ISA/IEC 62443) las cuales son relevantes para el diseño de sistemas SCADA.

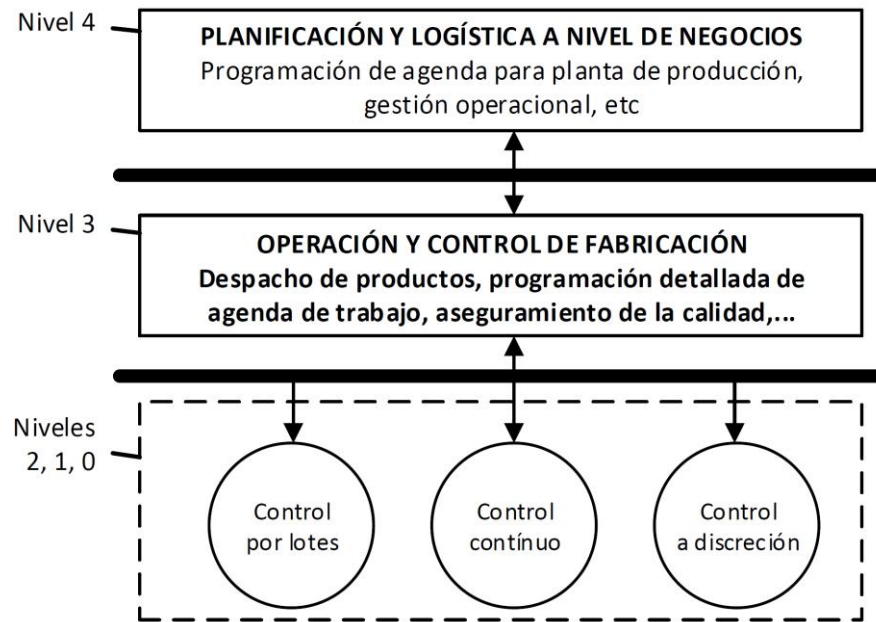


Figura 2.2: Estrategias de control y Jerarquía funcional ISA 95.

Elaboración propia, basado en la Figura 1 “Comparison of the scope and focus of ISA 88 and ISA 95” de [19].

<sup>14</sup> De la cual se ofrecen más detalles en la sección 2.2.4 dedicada a las tecnologías OPC.

<sup>15</sup> Tales como los sistemas para *Planificación de recursos empresariales (ERP)*

El propósito de ISA 88 es: proporcionar normas y prácticas recomendadas que sean apropiadas para el diseño y la especificación de sistemas de *control por lotes*<sup>16</sup> tales como los utilizados por las industrias de procesos y alimenticia.

El propósito de ISA 99 es definir procedimientos apropiados para, implementar sistemas electrónicamente seguros en el marco de la automatización industrial [5].

### **2.2.3 Familias de protocolos para redes industriales**

Los protocolos son normas y reglas que rigen las comunicaciones en una red, las capas más altas del *modelo de referencia OSI/ISO*<sup>17</sup> son implementadas por componentes de software, y las inferiores por componentes del sistema operativo.

Existen plataformas tecnológicas para automatización las cuales utilizan protocolos abiertos; a pesar de estos esfuerzos de estandarización, aún existen gran cantidad de protocolos para redes industriales mutuamente incompatibles.

Con el fin de facilitar la convergencia hacia un estándar industrial común, grupos de fabricantes (organizados en consorcios tecnológicos) han apoyado la fundación de instituciones dedicadas a regir “familias de protocolos”<sup>18</sup>.

Existen organizaciones encargadas del mantenimiento y administración de protocolos de red, entre ellas están: PI (PROFIBUS International), ODVA Inc., FieldComm Group, Modbus Organization Inc., IEEE 802.3 Working Group.

---

<sup>16</sup> Incluye procesos para células de automatización, donde la estrategia de control varía a discreción.

<sup>17</sup> Modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos, sus capas se han representado en la Figura 2.4 de la página 48. Para mayor información acerca sobre OSI/ISO OSI, se recomienda consultar el Reporte Técnico referido en [27].

<sup>18</sup> Conjuntos de protocolos, con especificaciones similares o compatibles, que incluso pueden haber sido desarrolladas por un mismo fabricante y licenciadas a sus socios.

#### 2.2.4 Fieldbus (IEC 61158) y compatibilidad

Las **redes de campo** basadas en buses, han resultado de gran eficiencia y su uso está ampliamente extendido para enlaces de comunicación donde existen requerimientos de **tiempo real estricto**.

Distintos enfoques han sido utilizados para facilitar el acceso (en redes para automatización) a un medio de transmisión compartido; son de resaltar:

- El *protocolo industrial común* (CIP™) propuesto como base para una arquitectura unificada, por la Corporación ODVA.
- La arquitectura abierta FOUNDATION, protocolos Fieldbus H1 y HSE, administrados por la organización FieldbusComm Group.
- Las especificaciones Fieldbus de tecnología PROFIBUS<sup>19</sup>, administradas por la organización PI.

El objetivo de las especificaciones CIP es proveer una arquitectura unificada, la cual facilite el establecimiento de comunicaciones entre redes industriales de cualquier nivel (basadas en buses) y redes empresariales.

La integración mediante una arquitectura común, de las tecnologías PROFIBUS y otros buses industriales para datos (por ejemplo, los propuestos en la arquitectura FOUNDATION) no ha sido posible.

En el estándar Fieldbus (IEC 61158) se validan como acordes con la definición de “bus de campo” a varias tecnologías para redes industriales; así que existen varios protocolos reconocidos oficialmente como Fieldbus, los cuales forman parte de arquitecturas mutuamente incompatibles.

---

<sup>19</sup> El protocolo DP se ha diseñado para comunicaciones entre controladores y periféricas distribuidas, y el protocolo PA (automatización de procesos) para comunicaciones entre controladores y redes informáticas.

### 2.2.5 Tecnologías OPC

Todo sistema informático requiere un *motor para base de datos*. Los primeros motores para bases de datos se diseñaban para una plataforma de hardware específica, pero la necesidad de sistemas capaces de compartir datos con otras plataformas dio impulso a proyectos de estandarización.

#### 2.2.5.1 Arquitectura OPC Clásica

En 1996 la **Fundación OPC**, dedicada a mantener estándares industriales enfocados en la estructura de datos, publica las especificaciones DCOM [8, p. 137]; posteriormente esta fundación publica las *Especificaciones clásicas OPC* (OPC Classic) que son un conjunto de estándares los cuales utilizan tecnologías Microsoft.

Se consideran parte de OPC Classic a los estándares: OPC DA, para acceso a datos del proceso; OPC HDA, para acceso a un registro histórico del proceso; y OPC A&E, para acceso a alarmas y eventos del proceso.

Todos los estándares OPC Classic proponen el uso de las especificaciones para *Embutido y enlazado de objetos* (OLE) con el fin de facilitar la comunicación entre aplicaciones; para implementar sistemas cuyos componentes de software puedan estar distribuidos a lo largo de una red, se proponen el uso de las especificaciones del *Modelo de componentes distribuidos* (DCOM).

#### 2.2.5.2 Arquitectura OPC UA

Durante la primera década del siglo XXI, se han publicado las especificaciones: OPC Complex Data, OPC eXchange, OPC Commands y OPC XML DA.

En 2006 la Fundación OPC propone la arquitectura unificada, también publicada como el estándar internacional IEC 62541; aunque OPC UA es compatible con las estructuras de datos propuestas por OPC Classic, la unificación propone:

- Sustituir las tecnologías Microsoft por una arquitectura orientada a servicios basada en protocolos abiertos e independientes de la plataforma.

- Sustituir objetos SCADA por estructuras de datos definidas e implementadas utilizando conceptos propios de la programación orientada a objetos.

Desde 2008, la fundación OPC y la organización PLCopen trabajan en especificaciones acompañantes para OPC UA, estos esfuerzos se enfocan en la implementación de la arquitectura unificada en controladores PLC [20].

Trabajar con la arquitectura unificada propuesta por OPC UA, brinda una importante cantidad de mejoras respecto del marco de trabajo sobre el cual se basaban los estándares industriales OPC clásicos; entre ellas:

- Mayor compatibilidad con redes WAN.
- Servidores de datos ligeros, que no sobrecargan los microcontroladores integrados en dispositivos de campo y controladores.
- Estrategia de seguridad integrada, que facilita la protección de flujos de información codificada, como datos en formato binario y en formato XML.

## 2.3 Seguridad en Sistemas SCADA

### 2.3.1 Origen de ataques informáticos

El uso generalizado, durante enlaces de comunicación, de **redes Ethernet inseguras**, ha aumentado la importancia que tiene para las empresas, el establecimiento de sistemas informáticos con políticas de seguridad claramente establecidas.

La seguridad debe tomar en cuenta, tanto los aspectos relacionados con la integridad de la infraestructura de red, como los relacionados con la seguridad de datos (privacidad, integridad y autenticidad).

El *Instituto de Tecnología de la Columbia Británica de Canadá* (BCIT) detectó en 2005, que la mayor fuente de ataques, contra sistemas informáticos destinados al control de procesos de manufactura, pasó de tener un origen interno (LAN empresarial) a tener un origen externo (Internet).

En un estudio del BCIT donde se clasifican los ataques informáticos, se concluye que: aunque la principal fuente de ataques es la propia red corporativa (ataques originados desde ubicaciones de red pertenecientes a la red LAN/WAN empresarial), la cantidad de ataques informáticos originados en la red Internet, ha aumentado de forma tal que ocupa el segundo lugar en orden de importancia como fuente de ataques.

La tercera fuente más importante de ataques cibernéticos la constituyen equipos invitados con acceso físico o remoto a la red LAN, que logran burlar los criterios establecidos en los protocolos de seguridad de la empresa.

### **2.3.2 Establecimiento de prioridades**

Los objetivos definidos por las políticas para seguridad en informática, coinciden con los objetivos para sistemas de control industrial; sin embargo, la prioridad relativa difiere.

De acuerdo a los criterios planteados por administradores de sistemas para control industrial, el objetivo de mayor prioridad es maximizar la *disponibilidad* del sistema; el despliegue de mecanismos para *validación de integridad*, se considera de importancia media y es indispensable para proteger los datos e inclusive al sistema, de alteraciones intencionales o accidentales.

La *confidencialidad de las redes* para datos, involucradas directamente en los procesos de manufactura, tiene menor importancia relativa (respecto de la integridad y disponibilidad); sin embargo, se considera que mantener fuera del conocimiento público las redes para ICS, reduce la probabilidad de que estas sean blanco de ataques informáticos dirigidos (por ejemplo hacia servidores OPC clásicos).

Otros importantes requerimientos de seguridad que aplican a TODAS LAS REDES para transporte de datos, son: la debida *verificación de identidad para interlocutores*, (para evitar fraudes y/o accesos indebidos a información delicada) y el resguardo de la *confidencialidad para datos transmitidos*.



### 2.3.3 ISA 99/IEC 62443

El estándar ISA 99/IEC 62443 establece cuatro niveles de seguridad:

- Nivel 1: Protección contra violaciones de seguridad casuales.
- Nivel 2: Protección contra violaciones de seguridad intencionales llevadas a cabo con medios sencillos.
- Nivel 3: Protección contra violaciones de seguridad intencionales llevadas a cabo con medios sofisticados.
- Nivel 4: Protección contra violaciones de seguridad intencionales llevadas a cabo con medios sofisticados y amplios recursos.

El concepto de *zonas* (y sus correspondientes *conductos*) para seguridad de datos, simplifica la tarea de imponer políticas de seguridad en redes industriales; esto se debe a que, a todos los participantes de una zona/conducto se les asigna un mismo nivel de seguridad.

Los conductos establecen de forma precisa la manera como se comunican dos zonas de seguridad; estos se definen como: “agrupación lógica de recursos para comunicaciones dedicados a proteger la seguridad de los canales que esta agrupación contiene”.

Este estándar recomienda también la instalación de cortafuegos con soporte para **redes perimetrales** (también denominadas “zonas desmilitarizadas” DMZ). Una vez que se establecen zonas de seguridad, es posible verificar su apropiado desempeño, mediante herramientas para gestión de tráfico.

En la Figura 2.3 se ilustran las zonas de seguridad propuestas por ISA 99/IEC 62443, el cual incorpora conceptos propios de un esquema de **defensa en profundidad**.

## **2.4 Estándares OPC y seguridad**

### **2.4.1 Seguridad en la arquitectura OPC Clásica**

De acuerdo con [21], las dos principales vulnerabilidades de la tecnología OPC Classic son: cortafuegos indebidamente configurados, y derechos de acceso demasiado permisivos para la tecnología DCOM.

En las conclusiones del citado documento, se expresa que el usuario final puede considerarse como la principal fuente de vulnerabilidades; en consecuencia, se establece la necesidad de capacitación para un apropiado dominio de la tecnología.

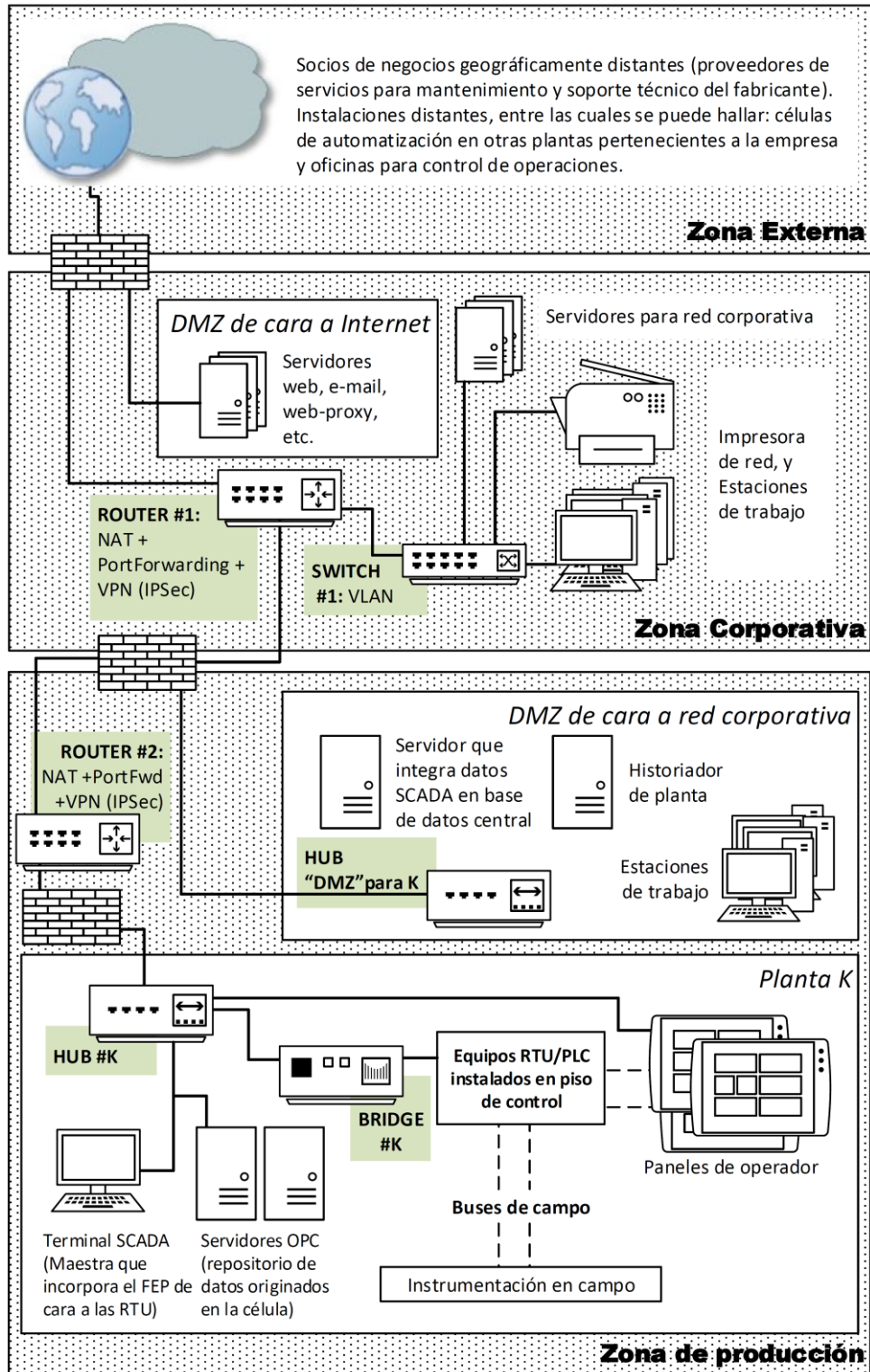


Figura 2.3: Diagrama simplificado para zonas de seguridad ISA 99.  
Elaboración propia.

Los servidores OPC Clásicos pueden implementar estrategias de tunelizado lo cual resulta en una configuración simplificada para las políticas de cortafuegos.

En los servidores OPC la configuración de derechos de acceso para DCOM suele estar totalmente automatizada; siempre que se utilicen los esquemas integrados para gestión de privilegios, la configuración resultará segura. En general se recomienda:

- Evitar la instalación de Servidores OPC en hardware que de alojamiento a múltiples servidores
- Desactivar cualquier servicio provisto por el sistema operativo, que no sea NECESARIO para el funcionamiento de la plataforma.
- Imponer el uso de contraseñas apropiadas<sup>20</sup>
- Dar cumplimiento a los protocolos para registro de entrada y salida de usuarios en el sistema, y
- Aplicar parches de seguridad de forma regular<sup>21</sup> en cada uno de los componentes del sistema de automatización.

#### **2.4.2 Seguridad en la arquitectura OPC UA**

La arquitectura unificada OPC facilita el uso de tunelizado VPN y certificados SSL, ya que se ha diseñado de forma tal que no interfiere con los esquemas de seguridad tradicionales de Ethernet.

El flexible enfoque de OPC UA IEC 62541 permite elegir cual metodología utilizar para proveer seguridad al sistema, facilita el desarrollo de aplicaciones para clientes y servidores.

---

<sup>20</sup> Es de resaltar que las contraseñas solo proveen seguridad, si no se comparten entre usuarios con distinto nivel de acceso, y se renuevan frecuentemente.

<sup>21</sup> Los publicados por proveedor del sistema operativo y el proveedor del software OPC.

#### 2.4.2.1 Capas OPC UA

Al igual que los modelos ISO-OSI y TCP/IP, la arquitectura unificada propone un modelo basado en capas abstractas; en este caso, las capas son tres: capa de aplicación (también llamada *Capa de sesión*); capa de comunicación, a la cual el estándar se refiere preferiblemente como *Canal seguro* (Secure Channel); y la *Capa de transporte*.

En la arquitectura unificada, la seguridad de la data transmitida ha recibido especial énfasis; en la segunda parte del estándar IEC 62541 (OPC UA) se especifica el rol de cada capa en el esfuerzo conjunto de seguridad.

Aunque para cada una de las capas OPC UA representadas en la Figura 2.4, es posible elegir el mecanismo de seguridad a implementar, los roles asignados se mantienen constantes; a continuación se describe brevemente el rol de cada capa.

##### 2.4.2.1.1 Capa de Sesión

La seguridad es gestionada por las propias aplicaciones, las cuales deben encargarse de la *autenticación de usuarios*, es posible elegir el método para autenticado de usuarios a implementar.

##### 2.4.2.1.2 Canal seguro

Provee métodos para asegurar *la confidencialidad y la integridad* de todos y cada uno de los mensajes que son transmitidos; al igual que a nivel de sesión es posible elegir el método a utilizar.

##### 2.4.2.1.3 Capa de Transporte

A nivel de la capa de transporte UA, la seguridad se provee de forma extrínseca y recurre a:

- Funcionalidades provistas por componentes de red capaces de implementar esquemas de seguridad, basados en zonas para seguridad de datos.

- Esquemas para intercambio de certificados.

Dado a que esta capa implementa los mecanismos para negociar, los perfiles de seguridad a utilizar durante cada sesión y las características del canal seguro, se infiere que las políticas de seguridad extrínseca implementadas resultan de suma importancia para la arquitectura unificada (UA).

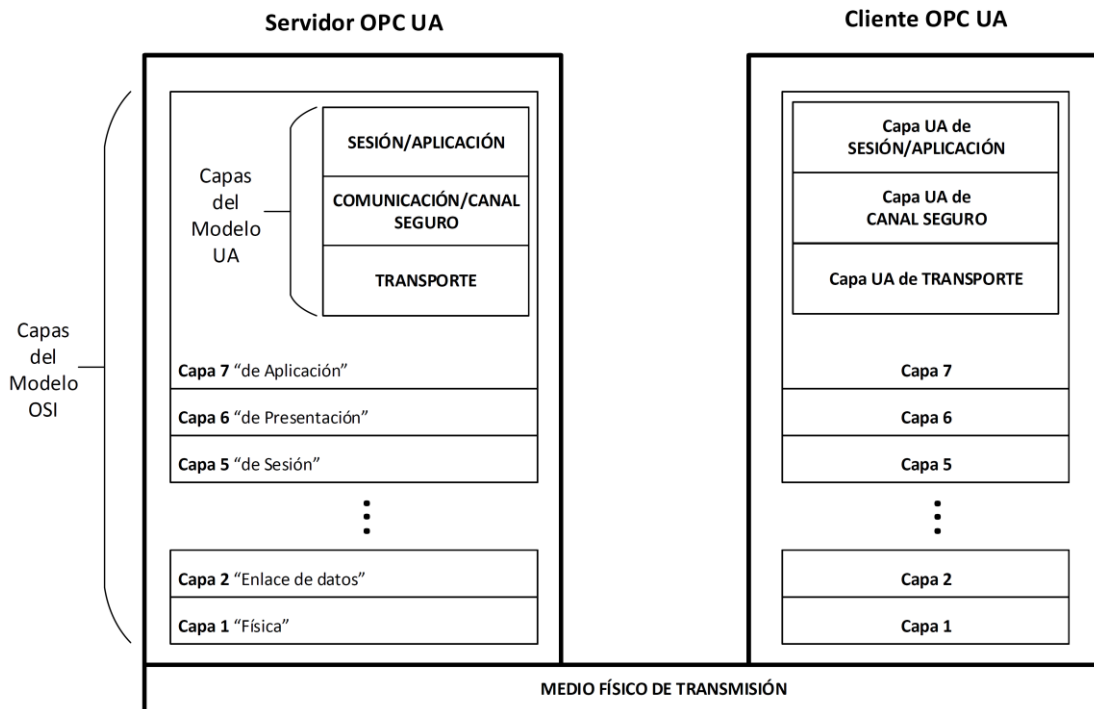


Figura 2.4: Modelo OSI y capas del modelo OPC UA.  
**Elaboración propia.**

## CAPÍTULO III

### 3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

#### 3.1 El proceso productivo

El proceso productivo está conformado por seis líneas de producción las cuales involucran, al menos a un equipo, cuyo funcionamiento ha sido automatizado mediante controladores tipo PLC.

El siguiente diagrama provee una representación abstracta del proceso productivo, en el cual la actividad manufacturera se ha conceptualizado como un conjunto de sub-procesos a los cuales se somete la materia prima.

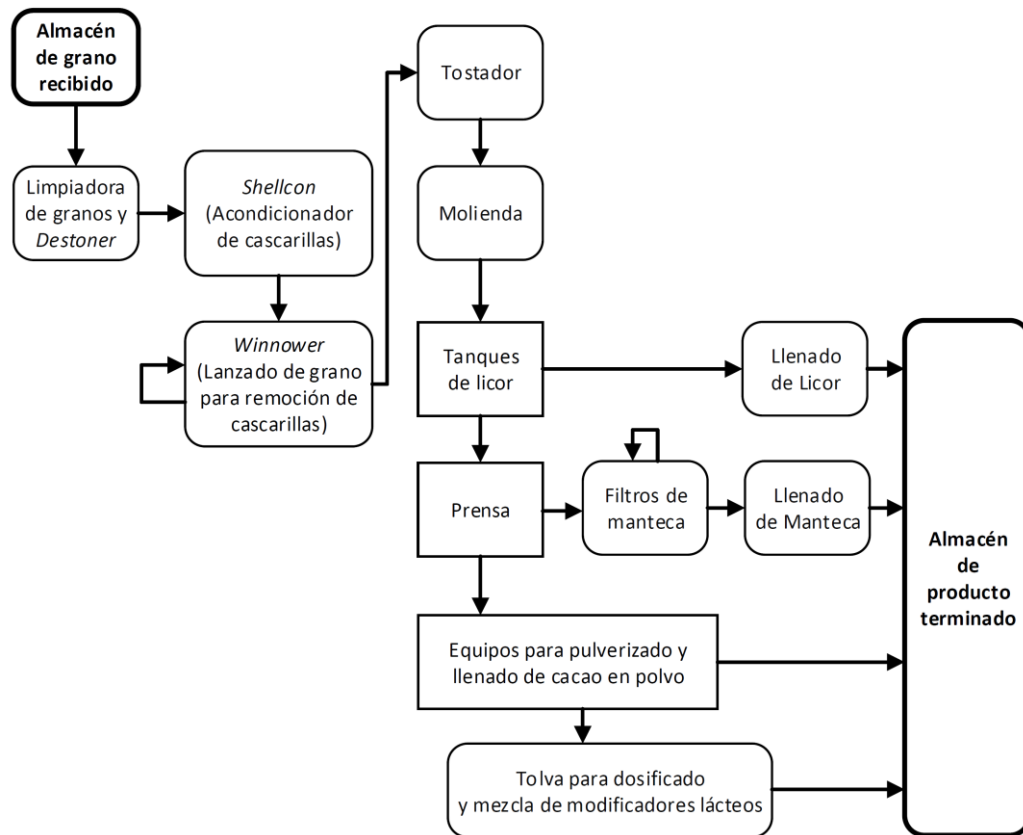


Figura 3.1: Etapas del proceso. Fuente: elaboración propia.

(A excepción de los bloques resaltados en negrilla, que indican el inicio y final del proceso, cada etapa representada involucra un armario eléctrico en piso de control)

### **3.1.1 Armarios para control manual del proceso**

El bloque identificado como “Molienda” representa una etapa de la línea para procesamiento de grano, la cual podría dividirse en dos sub-procesos; el primero (la *molienda gruesa*) involucra a un molino de aspas y el segundo (la *molienda fina*) dos molinos de bola.

El molino de aspas entrega *licor grueso* con partículas de 100 a 200 micrómetros y los molinos de bola producen un *licor fino*, con partículas de aproximadamente 75 micrómetros.

La molienda para grano no implementa una estrategia de control automatizado; su operación se realiza mediante un tablero eléctrico instalado en piso de controladores, en la puerta del armario eléctrico dedicado a dar servicio a la estación.

## **3.2 Automatización del proceso productivo**

En las siguientes sub-secciones se describen aquellas etapas que disponen de un sistema para automatización instalado en planta, pero antes se provee más información acerca de las dos salas de control existentes. El Anexo N° 1 provee diagramas de planta que facilitan la comprensión acerca de la distribución, de líneas de producción y salas de control.

### **3.2.1 Salas de control**

#### **3.2.1.1 Sala de control de área blanca**

La sala de control zonificada como *área blanca* brinda alojamiento tanto a estaciones instaladas en la línea para procesamiento de grano, como a estaciones dedicadas a automatizar la operación de equipos que intervienen en el procesamiento de productos derivados del cacao. Algunas estaciones para la línea de procesamiento de granos, se controlan desde la sala de control zonificada como *área gris*.



### 3.2.1.2 Sala de control de área gris

Es una sala de control que, en comparación con la sala de control de área blanca, tiene menor tamaño y ha sido zonificada como área gris; brinda alojamiento a armarios eléctricos de control para las estaciones dedicadas a: la limpieza de granos recibidos, el acondicionamiento de cascarillas y el lanzado de granos<sup>22</sup>.

## 3.2.2 Estaciones para la línea donde se procesa el grano de cacao

### 3.2.2.1 Estación de limpieza para granos vaciados

Es la primera estación automatizada a lo largo del proceso productivo y tiene asignado un armario eléctrico de control, ubicado en la sala de control de área gris; en esta estación hay dos máquinas, una dedicada a la remoción de piedras y otra a la remoción de desechos sólidos.

La *limpiadora de granos* recibe, desde un elevador de cangilones, granos vaciados y almacenados en el silo subterráneo para “grano crudo”<sup>23</sup>. Debido a que la industria considera indebido el procesamiento de granos dobles o mal formados, esta máquina se encarga de separar y descartar granos con estas características.

El principio de funcionamiento de la limpiadora, es la separación de partículas livianas mediante tamices vibratorios y de partículas pesadas por un proceso de estratificación; esta máquina retira también residuos metálicos.

Instalada justo debajo de la limpiadora, una segunda máquina (equipo designado *Destoner* por su fabricante) se encarga de extraer piedras, las cuales usualmente vienen mezcladas con el grano crudo.

---

<sup>22</sup> El grano de cacao crudo es arrojado contra una superficie sólida para facilitar su descascarillado.

<sup>23</sup> Lotes de grano sin clasificar; cada lote consiste en granos con cáscara los cuales suelen venir mezclados con piedrecillas y pequeños desechos sólidos.

El funcionamiento de elevador, limpiadora y removedor de piedras, se ha automatizado con un controlador PLC Siemens SIMATIC S7 -300 de CPU modelo 313C.

A diferencia de otras estaciones, el Destoner no se opera mediante un panel gráfico HMI, sino desde un panel eléctrico de control instalado en la propia puerta del armario eléctrico y de control instalado en la sala de control de área gris.

### 3.2.2.2 Estación para acondicionamiento de granos

Los granos que salen de la estación para limpieza, se descargan en el “silo para granos limpios” a través de un elevador de cangilones; este depósito tiene capacidad de almacenamiento para hasta 44 toneladas.

El vaciado del silo para granos limpios, se realiza mediante un tercer elevador de cangilones, el cual descarga producto a la tolva de un equipo diseñado para “acondicionar cascarillas”, cuyo fabricante denomina *Shellcon*.

El acondicionador de cascarillas trabaja por lotes, su estructura está conformada por un cilindro rotatorio dentro del cual las cascarillas se aflojan y separan de la nuez. En el cilindro se aplica el siguiente tratamiento: primero, un golpe térmico hincha los granos separando la cascara de la nuez; posteriormente mediante aire caliente y un rociador, se esterilizan y refrigeran los granos.

En caso de considerarse necesario, en lugar de liberar agua, el rociador trabaja con una solución acuosa preparada en la marmita<sup>24</sup>; el objetivo de esta solución es remover bacterias.

Una vez finalizado el proceso de rociado, a través de un transportador de cadena integrado, los granos hinchados se transportan hacia un depósito subterráneo donde se acumulan temporalmente.

---

<sup>24</sup> También se conoce como “tacho”, se encuentra ubicada en el galpón para grano recibido.

Desde el depósito subterráneo del Shellcon, un cuarto elevador de cangilones, extrae granos del depósito para granos hinchados y los deposita en la tolva de alimentación para el equipo “removedor de cascarillas”, el cual forma parte de la próxima estación.

El armario eléctrico y de control que brinda servicio a la estación automatizada para acondicionamiento de cascarillas, alberga un controlador PLC Siemens SIMATIC de tecnología S7-300, con CPU modelo 313C y dispone de un tablero eléctrico de control instalado en su puerta.

#### 3.2.2.2.1 Armario eléctrico instalado en planta

Una parte importante del monitoreo en la estación para acondicionamiento de granos (el ajuste de los puntos de consigna) se realiza desde un “armario eléctrico auxiliar” ubicado en planta, próximo tanto al Shellcon como al *Winnower*. En las puertas de este armario, se han instalado dos paneles gráficos HMI para operar sobre las estaciones de acondicionado de granos y remoción de cascarillas; en las puertas también se ha dispuesto un “tablero del armario eléctrico auxiliar”

El armario eléctrico auxiliar implementa una lógica basada en contactos y relés, con la cual se procesan señales provenientes del tostador; el objetivo de esta lógica, es advertir a los operadores cuando es necesaria alguna acción de control directo.

En situaciones excepcionales y/o de emergencia, los operadores en planta tienen la responsabilidad de cerrar el lazo de control seleccionando la acción de control correspondiente. Los operadores pueden activar procesos de contingencia, bien sea a través de los paneles HMI o de la botonera perteneciente al tablero del armario eléctrico auxiliar.

#### 3.2.2.3 Estación para remoción de cascarillas

La tercera estación utiliza un controlador PLC, Siemens SIMATIC S7-300 de CPU modelo 313C para automatizar sus procesos; el equipo principal de la estación, se encarga de separar las nueces de sus cascarillas. El fabricante denomina *Winnower* al removedor de cascarillas.

La máquina instalada en planta para la remoción de cascarillas involucra un tamizado previo, el cual solo deja pasar granos enteros hacia la cámara de “aplastamiento”, allí un rodillo octogonal arroja los granos contra una superficie de impacto; el resultado de la colisión son granos fracturados, a partir de los cuales se obtienen *nueces* (nib) y trozos de *cascarilla* (shell). Una sección de tamizado y aspirado permite desechar las cascarillas y a la vez establece un flujo continuo de nueces de cacao, listas para tostar.

Mediante presión de vacío, una tubería transporta nueces limpias hacia la primera tolva del tostador; con una capacidad para 900 kg, esta dosifica su carga hacia una tolva de capacidad para 1,8 toneladas métricas. Para el llenado de la última tolva se emplean: un mezclador motorizado y una válvula rotativa (diseñada para materiales sólidos tales como polvo y granos).

Aunque el armario eléctrico y de control para la estación de remoción de cascarillas, está instalado en la sala de control de área gris; el ajuste de los puntos de consigna se realiza desde un panel HMI instalado en el “armario eléctrico auxiliar” descrito en la sección anterior (sub sección 3.2.2.2.1).

#### 3.2.2.4 Estación para tostado de granos

De las cuatro estaciones automatizadas ubicadas en la línea para procesamiento de grano, esta es la estación de mayor complejidad ya que está compuesta por:

- Tolva de 1,8 toneladas métricas, la cual lleva instalada en su salida una balanza y un dosificador en forma de válvula rotativa.
- *Tostador*, equipo sumamente complejo el cual incorpora una cámara cilíndrica donde (quemadores, rociadores, sistema para rotado del cilindro, etc.) hacen posible controlar el proceso de tostado.
- Compartimiento con sopladores de aire fresco, los cuales acondicionan la temperatura de las nueces recién tostadas.
- Tolva previa al molino de aspas, alimentada por el quinto y último elevador de cangilones.

El controlador PLC Siemens SIMATIC S7-300 de CPU modelo 315-2DP, instalado en el armario eléctrico y de control dedicado a esta estación, viene con un puerto serial extra integrado (conector para bus RS-485<sup>25</sup>) el cual se ha destinado a la interfaz PROFIBUS DP incorporada en este modelo.

Para conectar dos bastidores periféricos al PLC, se trabaja con segmentos de cable estructurado<sup>26</sup> y el protocolo PROFIBUS DP. Los bastidores albergan módulos SM compatibles con la plataforma S7-300, estos son necesarios para proveer a las salidas digitales que deben ser controladas, con puntos de conexión; se ha utilizado también un procesador de comunicaciones CP 343-1 (para enlaces Industrial Ethernet).

Dada la complejidad de la instalación, el fabricante decidió implementar la HMI mediante software para sistemas SCADA de escala reducida; la estación de supervisión utiliza un *computador personal* (PC) en lugar de un panel.

Este PC mini-SCADA es a la vez repositorio de datos e interfaz de operador, su conexión hacia la CPU del controlador emplea un segmento de cable estructurado UTF Categoría 5, para el enlace punto a punto.

Tanto el armario eléctrico y de control, como la consola de operador basada en PC, están ubicados en la sala de control de área blanca; sentado en su cubículo, el operador de turno dispone de una vista elevada y directa hacia el tostador.

El operador de esta estación también tiene bajo su responsabilidad un semáforo y (en las puertas del armario) un panel eléctrico de control que incluye botonera e indicadores.

---

<sup>25</sup> Acorde con las especificaciones ANSI/TIA/EIA-485.

<sup>26</sup> El medio físico de transmisión consiste en cableado STP de dos hilos.

El software SCADA utilizado es el *intérprete en tiempo de ejecución* “InTouch WindowViewer” programado mediante el software InTouch WindowMaker (que facilita el diseño de interfaces gráficas); se utilizó Wonderware Historian para almacenar los datos generados por el proceso.

El proyecto HMI instalado pone a disposición del operador varias recetas para el tostado de granos; estas recetas definen parámetros tales como la temperatura de tostado, el tipo de solución descargada por los aspersores integrados y el tiempo de tostado, las cuales se aplican por cada lote.

### **3.2.3 Estaciones para líneas que procesan derivados del cacao**

#### **3.2.3.1 Estación para tanques de licor**

En los *tanques para licor* se mezcla y homogeniza la materia prima proveniente de la molienda; con este fin se bate licor por al menos 12 horas, a una temperatura de entre 60 y 80 °C.

A la salida de estos tanques, un sistema ajustable de válvulas y tuberías permite direccionar el flujo de producto para su descarga en: la estación de prensado, la estación de llenado de licor o el sistema para disposición de desechos líquidos.

Un controlador PLC marca Siemens, de tecnología SIMATIC S7-300 con CPU modelo 314, regula el flujo hacia y a través de tres tanques; de esta manera, el departamento de producción dispone de un margen de maniobra que le permite optimizar la agenda de producción de productos derivados del cacao.

#### **3.2.3.2 Estación para prensado de licor**

Controlador PLC Siemens SIMATIC S7-300 de CPU modelo 315-2DP encargado de un complejo proceso, bastidores periféricos alojan módulos de interfaz con puertos para bus RS-485 (se ha utilizado el protocolo PROFIBUS DP).

La instalación de bastidores extra ha sido necesaria, ya que en ellos se instalaron módulos para entrada/salida de señales los cuales permiten ampliar la cantidad de señales que la unidad central de procesamiento administra.

Forman parte de esta estación:

- El sistema de descarga del tanque para atemperado de licor (LCS).
- El equipo para prensado de licor “Prensa de licor”.
- Un equipo triturador para desmenuzar tortas.

Para asegurar que el licor fluya apropiadamente dentro de la prensa, el producto que sale de los tanques de licor circula primero por un tanque de pequeñas dimensiones de donde fluye atemperado a una temperatura de entre 100 y 105 °C.

La prensa dispone de dieciséis recámaras de prensado<sup>27</sup> donde el licor caliente, se comprime con el fin de separar la manteca de los sólidos; de esto resultan dos productos: nuez de cacao tostado en forma de tortas y manteca de cacao.

La manteca que sale de la prensa a alta temperatura es transportada por bombeo hacia tanques para depósito de manteca; dado que esta manteca puede contener residuos sólidos de cacao, se denomina *manteca cruda*.

Las *tortas de cacao* (también “galletas”), se depositan en una bandeja desde la cual son desplazadas hacia una recámara conocida como *recámara facturadora de galletas* (cake-breaker) con aspas de acero rotatorias.

Finalmente, tuberías con aire frío a presión (el aire se mantiene a baja temperatura gracias sistema de refrigeración basado en la circulación de glicol frío) transportan los trozos de galletas hacia un depósito conocido como *cajón para piezas de tortas* (cake bunker).

---

<sup>27</sup> Estas utilizan actuadores neumáticos que proveen hasta 530 bares.

### 3.2.3.3 Estación para filtrado de manteca

El armario eléctrico y de control correspondiente a esta estación se encuentra ubicado en la sala de control de área blanca, los tanques para manteca cruda y manteca limpia pueden ser visualizados por el operador desde su puesto en la estación.

Se ha utilizado un controlador SIMATIC S7-300 con CPU modelo 314 y una pantalla HMI táctil de 10 pulgadas (SIMATIC HMI Graphic Panel serie 270).

Una instalación consistente en bombas y tuberías permite controlar el flujo, de la manteca almacenada en el tanque para manteca cruda, hacia un sistema de filtros donde los componentes sólidos son totalmente removidos; la manteca limpia resultante se deposita en el tanque de “manteca limpia”.

### 3.2.3.4 Estaciones para llenado de manteca y licor

Los armarios eléctricos de control para ambas estaciones se encuentran ubicados uno al lado del otro, en la sala de control de área blanca; desde los tableros eléctricos de control instalados en las puertas de cada tablero, resulta sencillo obtener línea de vista directa hacia el operador en planta (el cual está dedicado a regular el proceso de llenado de las líneas donde se empaqueta manteca y licor).

Los controladores para manteca y licor regulan procesos mediante instalaciones prácticamente idénticas, por este motivo ambas estaciones implementan una misma estrategia de control, adaptada a cada caso mediante configuraciones para el sentido del flujo y puntos de consigna.

*Durante el llenado de manteca se necesita un ajuste más fino que el de licor, esto se debe a que además de un intercambiador de calor, tuberías que transportan agua caliente, una cámara para refrigeración y una válvula para llenado; esta línea involucra: filtros para remover *barros* (slurry) y un tanque para manteca libre de barros.*



La materia prima de la *línea para llenado de licor* proviene directamente del *tanque LCS* (tanque con sistema para acondicionado de licor) de donde sale el licor atemperado hacia un pequeño tanque, el cual cumple función de acumulador; a diferencia de la línea para llenado de manteca, en esta línea no es necesario elevar la temperatura del producto.

Ambas líneas para dosificación de producto en estado líquido incorporan su propia cámara para refrigeración; esta consiste en un espacio de volumen reducido, donde tuberías internas para circulación de glicol frío, facilitan la transferencia de excesos de calor hacia el refrigerante.

Los puestos de trabajo para el operador en planta de las líneas de llenado son idénticos, ambos incluyen paneles gráficos HMI donde se ajustan parámetros tales como la temperatura de llenado y el peso unitario.

Los equipos que conforman las unidades de llenado son: válvulas dosificadoras de producto en estado líquido, sensores de peso que se monitorean con los módulos para pesaje Siemens SIWAREX del PLC correspondiente, y una banda para transporte por donde se desplazan las unidades de producto empaquetado hacia el área para almacenamiento.

Se han utilizado controladores PLC Siemens SIMATIC S7-300 de CPU 314.

#### 3.2.3.5 Línea de polvo o estación para polvo de cacao

Esta estación abarca toda la línea para llenado de cacao en polvo, recibe “tortas desmenuzadas” (rotas) provenientes del *cajón para piezas de torta* (cake bunker) y entrega polvo de cacao; los equipos instalados en esta línea reciben en conjunto, el nombre de “planta de polvo”.

Tanto la descarga del cajón para piezas de torta, como la operación de la molienda para tortas de cacao, se automatiza mediante un PLC Siemens SIMATIC S7-300 de CPU modelo 315-2DP

Las piezas son arrastradas fuera del cake bunker impulsadas por turbinas de aire frío, al llegar a planta de polvo *martillos pulverizadores* convierten la nuez tostada en polvo de cacao.

Posteriormente se utiliza (previo a la llenadora para polvo de cacao) una *manga compactadora de polvo*, cuyo fin es evitar la circulación de aquellas partículas que por ser demasiado ligeras, puedan quedar en suspensión; después. El polvo de cacao compactado se almacena en *Silo 1*.

El producto proveniente del primer silo se descarga producto en *Silo 2*, donde el polvo de cacao obtenido se “acondiciona” (refrigera) y “estabiliza” (reposa) con el fin de facilitar el proceso de llenado. La descarga del Silo 2 hacia la tolva de la llenadora involucra tornillos sin fin y válvulas rotativas.

Finalmente, el operador en campo utiliza una grúa de carga manual que emplea chupones de succión para sostener sacos; tras disponer un conjunto de sacos llenos sobre paletas, estas son transportadas hacia el área de producto terminado.

Los armarios eléctricos y de control de la línea para polvo, están ubicados cerca de la entrada del laboratorio para control de calidad; con el fin de proveer una línea de vista directa entre el operador en campo y el operador del panel HMI, este último se ha instalado en un cajetín contiguo al ventanal del laboratorio para control de calidad.

#### 3.2.3.6 Estación para dosificado de modificadores lácteos

La línea para dosificado de modificadores lácteos abarca tolvas para mezclado y dosificación, así como una máquina empaquetadora que trabaja de forma totalmente autónoma; a pesar de que el llenado de cada paquete para bebidas achocolatadas es automático, este es independiente de la estrategia de control implementada por el PLC instalado en planta.

El armario eléctrico y de control para la regulación del dosificado de modificadores lácteos, está ubicado en el mismo recinto que la empaquetadora; ahí se han dispuesto: el controlador tipo PLC de marca FATEK y el panel gráfico marca WEINTEK, ambos de tecnología taiwanesa.

Para transporte de materia prima, la instalación hace uso de una bomba para vacío e incluso de un tonillo sin fin; en la estrategia de control implementada, no se ha hecho uso del concepto de receta desarrollado por ISA 88.

De esta línea resultan preparados en polvo para bebidas instantáneas, fortificadas con vitaminas y hierro.

### **3.3 Condiciones de diseño**

#### **3.3.1 Controladores y estaciones de operador**

##### 3.3.1.1 Origen, cantidad y ubicación

Más de dos tercios de los equipos PLC y HMI instalados en planta (19 de un total de 23) son de tecnología alemana; el sistema SCADA propuesto debe sacar máximo provecho de estos componentes de hardware para automatización, los cuales pertenecen a, o “son compatibles con” la plataforma Siemens SIMATIC S7-300.

Los controladores S7-300 son equipos modulares destinados a la *automatización discreta* (discrete automation); sin embargo, siempre que la planta sea de mediana o pequeña escala, resultan apropiados para establecer estrategias de control por lotes y de control distribuido.

La línea de producción dedicada al dosificado de modificadores lácteos, puesta en servicio el año 2009, emplea tecnología de origen taiwanés. El armario eléctrico de control está instalado en planta y el fabricante es FATEK; la marca del panel táctil para HMI, basado en pantalla gráfica, es WEINTEK.

Las interfaces gráficas, que han sido instaladas en cada línea de producción, ofrecen varias formas de interactuar con el controlador a cargo de un proceso; sin importar el fabricante, todos los proyectos HMI tienen en común el uso de gráficos miméticos y/o esquemas que representan el proceso.

Desde cualquier pantalla perteneciente a un proyecto HMI, se puede acceder con facilidad a botones destinados a la ejecución de “acciones de control directo”; sin embargo, aun cuando el usuario disponga de un nivel de acceso apropiado, el criterio de diseño limita la funcionalidad de estos botones a la activación de protocolos de contingencia<sup>28</sup> y al arranque o parada de motores. Es de notar que los operadores tienen restringido el acceso a aquellas pantallas que permiten el ajuste de puntos de consigna.

Se han implementado tres regímenes o “modos” de operación: en modo automático, el proceso es responsabilidad del controlador; en modo manual, el operador es capaz de afectar el estado de las señales de control puestas a su disposición en las pantallas del proyecto HMI y responsable de la mayor parte de las acciones de control.

El tercer modo de operación, el modo de diagnóstico, facilita la operación “en línea” (*on-line*) la cual permite forzar variables y correr diagnósticos automatizados para recabar datos del propio controlador. Este modo requiere la supervisión del PLC mediante software de ingeniería instalado en el equipo programador

Los proyectos desarrollados con el software: InTouch (Schneider Electric - Wonderware), ProTool y WinCC Flexible (Siemens - SIMATIC); permiten incluso la asignación de récipes específicos a cada lote, así como una conmutación sencilla entre los modos de operación disponibles.

La figura 3.2 muestra la ubicación de aquellos armarios con equipos Siemens utilizados para la automatización de procesos.

---

<sup>28</sup> Diseñados para dar respuesta ante mensajes de alarma y/o emergencia.

Tabla 3.1: Resumen de equipos para automatización.

<b>Tecnología vs Componentes</b>	Alemana	Taiwanesa	Basada en arquitectura IBM-PC compatible
Pantallas HMI	9	1	2
Controladores	10	1	-

**Fuente: elaboración propia. Componentes de hardware que conforman el sistema de control, a los cuales es teóricamente posible acceder mediante un sistema SCADA, clasificados en pantallas HMI y Controladores.**

Ninguna estación de operador para la plataforma de automatización, tiene asociada una red a nivel de dispositivos de campo; en aquellas estaciones donde el proceso es especialmente complejo, se utiliza tecnología ET200-M (Bastidores de Periféricos para Ampliación).

El uso de periféricas distribuidas ET200 ha tenido como fin ampliar las entradas y salidas que pueden ser administradas por la unidad de procesamiento central (CPU) del PLC instalado en cada armario eléctrico y de control.

### **3.3.2 Protocolos utilizados en planta**

Para comunicar perfiles periféricos con el “perfil central” se han instalado módulos de interfaz IM 153-2 / IM 153-1 compatibles con la tecnología ET200-M.

En todas las CPU Siemens SIMATIC S7-300 viene incluido un puerto EIA-485, para bus RS-485, dedicado a la “Interfaz serial multipunto” (MPI). A través de estos recursos integrados, se pueden establecer conexiones (mediante el **Protocolo S7**) con velocidades de hasta 12 Mbit/s.

Tabla 3.2: Controladores S7-300.

<b>LISTADO DE CONTROLADORES S7-300 EN SERVICIO</b>			
<b>Familia</b>	<b>Estación</b>	<b>MLFB (número de ID)</b>	<b>Versión de Firmware</b>
315 2-DP	Tostado	6ES7 315-2AG10-0AB0	2.0.10
	Prensa	6ES7 315-2AG10-0AB0	2.0.8
	Llenado de manteca	6ES7 315-2AH14-0AB0	3.3.0
	Línea de polvo	6ES7 315-2AG10-0AB0	2.0.12
314	Tanques de licor	6ES7 314-1AF10-0AB0	2.0.8
	Llenado de licor	6ES7 314-1AF10-0AB0	2.0.8
	Filtrado de manteca	6ES7 314-1AF10-0AB0	2.0.0
313C	Limpieza de grano	6ES7 313-5BE01-0AB0	2.0.8
	Acondicionamiento de grano	6ES7 313-5BE00-0AB0	1.0.2
	Descascarillado	6ES7 313-5BE00-0AB0	1.0.0

Fuente: elaboración propia.

En planta, el protocolo S7 comunica los PLC con sus paneles gráficos HMI asignados; hay instaladas pantallas gráficas de las series TP170A, TP270, TP277 y MP270 de tecnología Siemens SIMATIC HMI Panel.

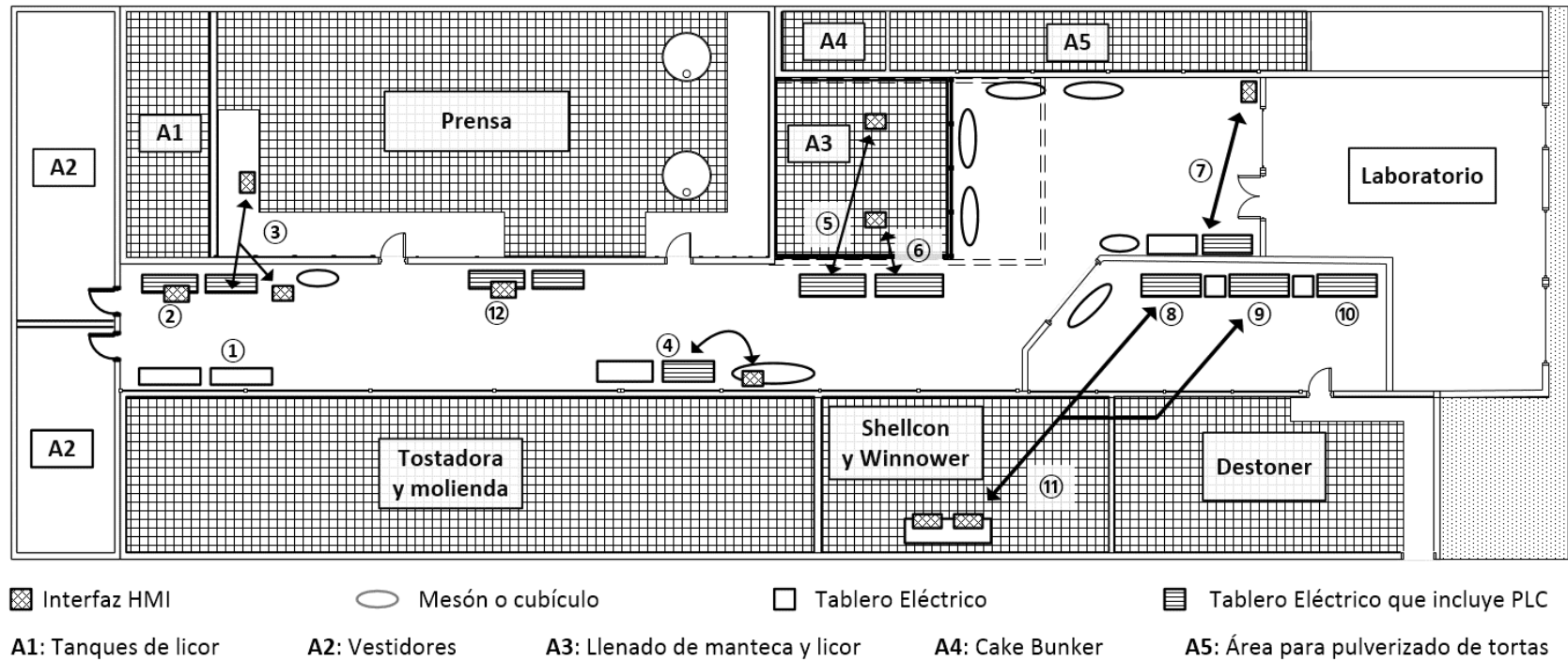


Figura 3.2: Ubicación de armarios y tableros con tecnología SIMATIC.  
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3.1: Leyenda para Figura 3.2.

①:	Molienda	②:	Tanques de licor	③:	Prensado	④:	Tostado
⑤:	Llenado de manteca	⑥:	Llenado de licor	⑦:	Planta de polvo	⑧:	Shellcon
⑨:	Winnower	⑩:	Destoner	⑪:	Armario auxiliar	⑫:	Filtros de manteca

Para aquellos controladores S7-300 con CPU perteneciente a las series 313C o 314, si no se dispone de un módulo con procesador para comunicaciones integrado, los servicios de programación en campo y diagnóstico donde interviene un equipo portátil destinado a la programación en campo<sup>29</sup>, requieren la desconexión temporal de su Panel HMI.

En aquellas estaciones donde van conectados perfiles periféricos al bastidor central, el modelo de CPU instalado pertenece a la serie 315-2DP; estos PLC disponen de dos puertos para comunicación serial, uno para la interfaz MPI y el otro para la interfaz PROFIBUS DP extra.

### 3.3.2.1 Otras estaciones agrupadas según sus características.

En estaciones con tecnologías ET200-M y SIWAREX, el puerto para bus RS-485 (redes PROFIBUS DP) ha sido dedicado a las comunicaciones con módulos IM-153. La interfaz MPI restante tiene la función de brindar servicio a un panel HMI; por lo tanto el panel queda incomunicado, cada vez que se conecta un equipo programador.

---

<sup>29</sup> Denominados PG/PC por Siemens, brindan servicio como herramienta para tareas de: ajuste, mantenimiento y diagnóstico.



Tabla 3.3: Protocolos de comunicación utilizados en planta.

<b>Protocolo</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Utilizado en planta para</b>
PROFIBUS DP	Protocolo para bus de campo	Comunicaciones entre un PLC y/o módulos de interfaz, hacia componentes de E/S instalados en bastidores periféricos.
S7	Protocolo propietario	Brindar servicio a componentes S7-300. Establecer enlaces de comunicación PLC - HMI.
PROFINET/IE	Variante Ethernet destinada a entorno industrial	Comunicación entre un PLC y el computador de escritorio que sirve de HMI (E. de tostado); utiliza una conexión punto a punto.
FATEK	Protocolo serial propietario	Comunicación entre controlador FATEK y panel gráfico WEINTEK (dedicada a proveer una HMI entre el operador y el controlador).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.4: Estaciones donde la CPU incluye interfaz *PROFIBUS DP*.

<b>Estación</b>	<b>MLFB (número de ID)</b>	<b>Versión de firmware</b>
<i>Tostador</i>	6ES7 315-2AG10-0AB0	2.0.0
<i>Prensa</i>	6ES7 315-2AG10-0AB0	2.0.10
<i>Línea de polvo</i>	6ES7 315-2AG10-0AB0	2.0.12
<i>Llenado de manteca</i>	6ES7 315-2AH14-0AB0	3.3.0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.5: Estaciones con módulos de pesaje *SIWAREX U*.

Estación	Modelo	MLFB (número de ID)	Características
<i>Llenado de manteca y de licor</i>	U1	7MH4601-1AA01	Un canal, compatible con S7-300 y ET200-M. Comunicación RS-232 hacia PC. Comunicación bus TTY hacia display remoto.
<i>Prensado de licor</i>	U2	7MH4601-1BA01	Idéntico que U1, excepto en que soporta hasta dos canales.
<i>Nota:</i>	Ambos cancelados y discontinuados el primer semestre de 2008. El MLFB del producto sucesor para U1 es 7MH4950-1AA01. El MLFB del producto sucesor para U2 es 7MH4950-2AA01. Los nuevos modelos fueron liberados para su venta en julio de 2007.		

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2.2 Acerca de la estación de tostado

En el caso de la estación de tostado, cuyo régimen de operación es prácticamente continuo, es posible evitar la desconexión temporal de la interfaz de operador gracias al módulo con “procesador de comunicaciones” (CP) utilizado para comunicaciones entre el PLC y el “computador personal” (PC).

En el perfil central ha sido instalado el “CP estándar” modelo 343-1, con ID número (MLFB) 6GK7 343-1EX11-0XE0 y versión de firmware 2.0; este provee dos puertos que satisfacen los requerimientos planteados por el estándar “Industrial Ethernet” (IE) y se dan servicio a la interfaz de red PROFINET IO integrada.

El PLC 315-2DP del tostador emplea un puerto EIA/RS-485 integrado en la CPU, para establecer enlaces PROFIBUS DP hacia interfaces IM 153-2; el otro puerto queda disponible para la conexión de un equipo programador.

La pantalla para la HMI es el monitor de un computador, el CP se comunica con este equipo a través de una “tarjeta para interfaz de red” (NIC) genérica, con soporte para Ethernet. El medio eléctrico de transmisión consiste en par trenzado de cobre (STP de

dos pares) permitiendo alcanzar tazas de transmisión de hasta 10 o 100 Mbps máximo.

Tabla 3.6: Estaciones con módulos de conexión.

Estación	Modelo	MLFB	Características
<i>Llenado de manteca y de licor</i>	IM 365	6ES7 365-0BA01-0AA0	No incorpora bus K, por lo tanto soporta únicamente módulos SM; permite hasta un bastidor extra.
<i>Línea de polvo</i>	IM 153-1	6ES7 153-1AA03-0XB0	Comunicaciones PROFIBUS DP, permite conectar hasta ocho bastidores periféricos, incorpora dip-switch ubicado bajo el puerto EIA/RS-485.  Solo soporta módulos de entrada/salida.
<i>Prensado</i>			
<i>Tostado</i>	IM 153-2	6ES7 153-2BA00-0XB0	<b>Modelo de altas prestaciones (HF)</b>  Cancelado en 2008 y discontinuado en 2009.  El sucesor actual (6ES7 153-2BA10-0XB0) fue liberado en abril de 2015 y soporta hasta doce bastidores periféricos; tasa de transmisión máxima de 12 Mbps.

Fuente: elaboración propia.

Tanto los módulos de software, con los cuales se implementan las pantallas del proyecto HMI, como los drivers necesarios para las comunicaciones<sup>30</sup>, son comercializados bajo la marca Wonderware® de Schneider Electric.

---

<sup>30</sup> Necesarios para encapsular el protocolo S7 en tramas TCP/IP

### 3.3.3 Configuraciones típicas utilizadas para estaciones en planta

El diagrama de la figura 3.3 expone los tres tipos de estaciones existentes en planta. En las estaciones donde el control del proceso resulta más complejo, se utiliza el protocolo PROFIBUS DP para establecer un enlace punto a punto hacia un bastidor periférico (instalado en el mismo armario eléctrico de control que el bastidor principal) mediante esta conexión se logra ampliar la cantidad de señales administradas por la CPU de los PLC.

Las estaciones para llenado de producto en estado líquido, emplean módulos SIWAREX U y módulos de interfaz IM 360/361; estos últimos son necesario para ampliar la cantidad de señales administradas por la CPU de los PLC, a diferencia del protocolo PROFIBUS DP, el sistema de extensión no soporta las funcionalidades para diagnósticos. En las estaciones más sencillas basta con un bastidor.

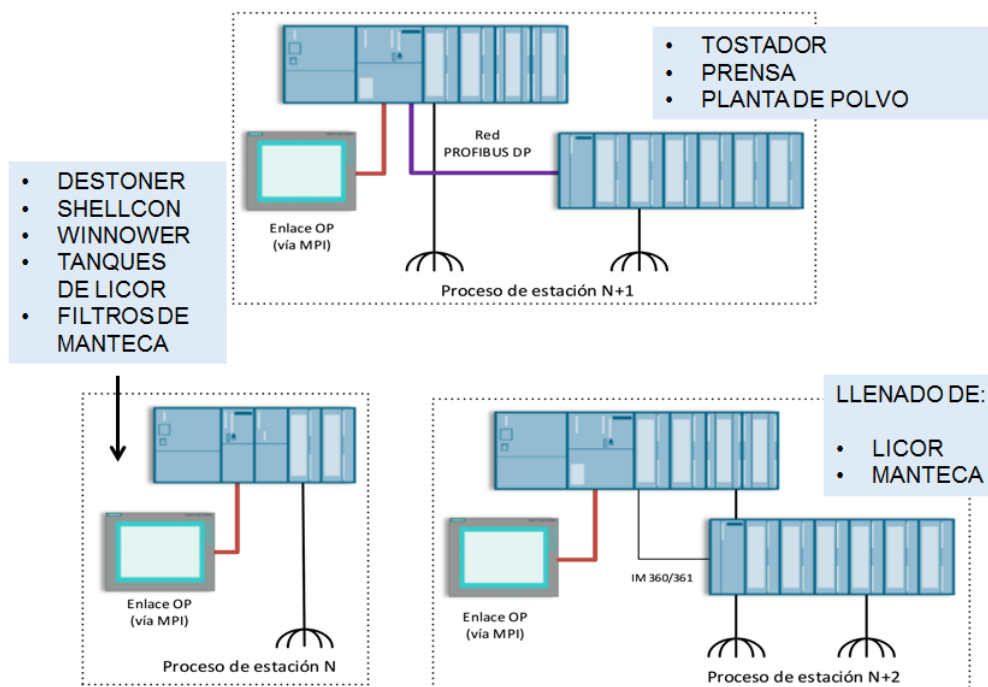


Figura 3.3: Configuraciones típicas para estaciones que han sido automatizadas utilizando la plataforma Siemens SIMATIC S7-300.

Fuente: elaboración propia.

### **3.3.4 Plataforma informática instalada en la empresa**

En el edificio administrativo, se ha instalado una red empresarial basada en tecnologías desarrolladas por la empresa Microsoft®; las estaciones de trabajo en piso administrativo utilizan el sistema operativo Windows 7 y para los servidores se hace uso de: Windows Server 2008 R2 Enterprise Edition, 64 bits (con Hyper-V incorporado).

Forman parte del software para soporte de redes informáticas instalado en la empresa: el servidor de directorios para redes distribuidas “Active Directory” (AD) y el servidor “Internet Information Services” (IIS), para subir contenidos a las páginas web corporativas las cuales se alojan en servidores provistos por una empresa especializada en proveer espacio de alojamiento “en la nube”.

El equipo para mantenimiento eléctrico de la plataforma para automatización, utiliza el sistema operativo Windows XP y los siguientes programas para desarrollar proyectos de ingeniería Siemens SIMATIC: ProTool versión 6.0 con licencia Standard, STEP7 versión 5.4 Service Pack 3 y WinCC Flexible 2008 Service Pack 2 con licencia Standard, entre otros.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Recursos y herramientas de trabajo**

##### **4.1.1 Software utilizado**

Tras entrevista con la empresa Siemens Venezuela, fueron suministrados discos ópticos para la instalación de versiones de prueba para WinCC 7.0, así como una dirección de enlace a un portal web desde donde fue posible descargar versiones de TIA WinCC Advanced/Professional.

Además del Sistema Operativo Microsoft Windows, se utilizó el entorno para virtualización “ORACLE VirtualBox”, en el cual se instalaron versiones de prueba para las plataformas SCADA evaluadas.

El software provisto por la empresa, ha sido aquel instalado en el equipo destinado a tareas de ingeniería; de entre las aplicaciones para mantenimiento eléctrico ahí disponibles, fueron de utilidad para este proyecto:

- Siemens SIMATIC Protool versión 6.0
- Siemens SIMATIC STEP7 versión 5.4 Service Pack 3
- Siemens SIMATIC WinCC Flexible 2008 Service Pack 2

#### 4.1.2 Hardware utilizado

A continuación se presentan dos tablas que listan tanto los equipos procurados por la empresa como aquellos procurados por el pasante.

Tabla 4.1: Hardware procurado por el pasante.

<b>Código</b>	<b>Descripción del elemento</b>	<b>Uso recibido</b>
<b>E001</b>	<i>PC portátil con sistema operativo Microsoft Windows XP</i>	Navegación web, consulta de documentos en formato PDF y ejecución de herramientas desarrolladas por la empresa Siemens como complementos ActiveX.
<b>E002</b>	<i>PC de escritorio con sistema operativo Microsoft Windows 7</i>	Anfitrión para máquinas virtuales, lectura de planos eléctricos y navegación web.

**Fuente: elaboración propia.**

Tabla 4.2: Hardware procurado por la empresa.

<b>Código</b>	<b>Descripción del elemento</b>	<b>Uso recibido</b>
<b>E101</b>	Monitor con adaptador VGA	Pantalla para el computador de escritorio propiedad del pasante
<b>E102</b>	Concentrador Ethernet de 8 puertos	Acceso a Internet desde la LAN de piso administrativo y concentrador para el banco de pruebas
<b>E103</b>	Banco de pruebas para redes Industrial Ethernet	Validación del correcto funcionamiento del procesador para comunicaciones incorporado en el módulo Siemens CP 343-1 (EX30)
<b>E104</b>	Computador para tareas de ingeniería	Programación de estrategias de control en los PLC y otras tareas de mantenimiento e ingeniería

**Fuente: elaboración propia.**

## 4.2 Propuestas conceptuales descartadas

Tras el levantamiento de información presentado en el Capítulo 3, se desarrollaron dos propuestas conceptuales exploratorias, estas se basan en la arquitectura de red utilizada para la estación del tostador; ambas incluyen un diagrama de red que especifica los medios de conexión hacia la red corporativa que existe actualmente.

### 4.2.1 Primera propuesta exploratoria: CP advanced y Link Device

Algunas características resaltantes de esta propuesta son:

- Propuesta válida para WinCC “SCADA” versión 7.X
- Solo es necesario adquirir el siguiente hardware para redes SIMATIC: un modelo de CP (343-1 Advanced) con procesador para comunicaciones Industrial Ethernet y un dispositivo Link (enlace para redes).
- Se utiliza el multi-panel táctil Siemens SIMATIC MP 277 de 10 pulgadas como un Gateway que comunica el PLC de origen taiwanés, instalado en la estación para dosificado de modificadores lácteos; este es necesario ya que aunque el PLC FATEK no ofrece módulos para comunicaciones PROFINET/Industrial Ethernet, están disponibles módulos con los cuales establecer enlaces Modbus TCP.
- Permite trabajar con servidores OPC clásicos, incluyendo OPC A&E.



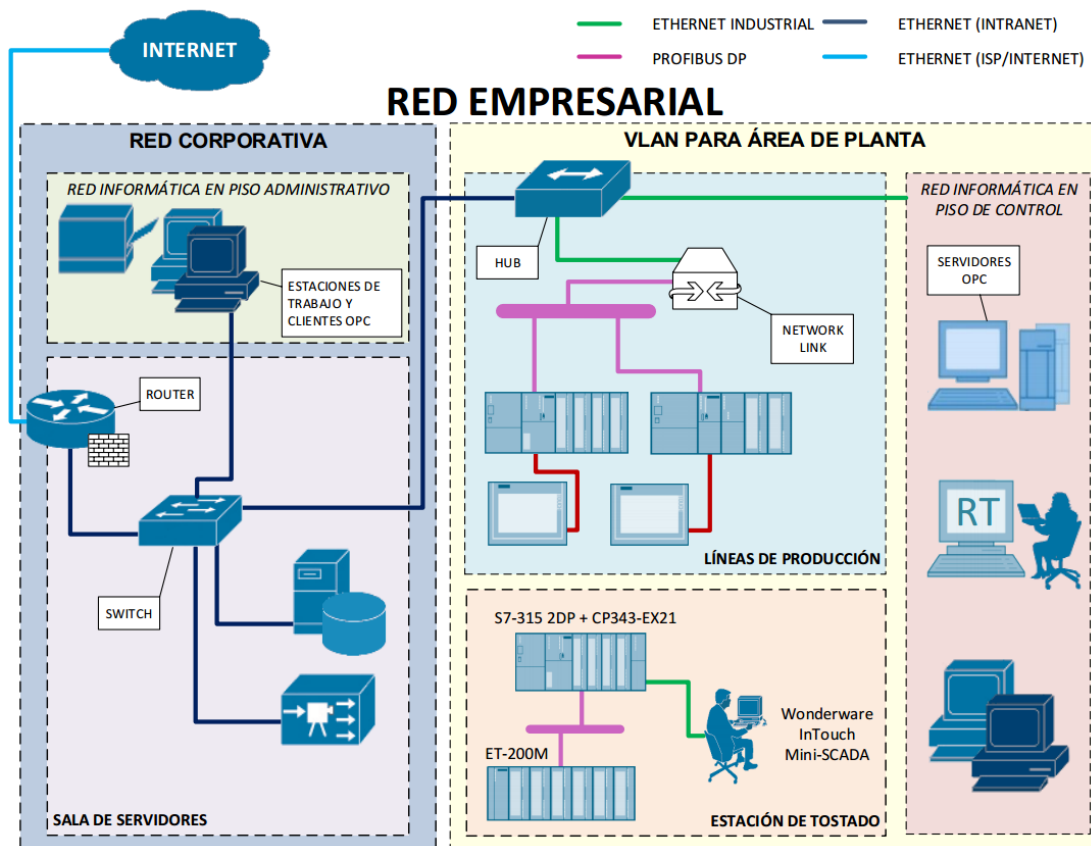


Figura 4.1: Propuesta con dispositivo para enlace de datos.

Fuente: elaboración propia.

Se propone implementar una red PROFIBUS DP a nivel de controladores, la cual se interconecta a la VLAN (sub-red destinada al área de planta) mediante el *dispositivo de enlace* (Link device); este hace las veces de Proxy/Gateway.

La red PROFIBUS basada un bus serial multipunto se consulta desde el RunTime para PC de WinCC, el cual utiliza el dispositivo Link PN/PB como *Unidad de Transmisión Remota* (RTU); la PC viene a ser una estación SCADA maestra, dedicada a recabar de datos provenientes del proceso, los cuales finalmente son consolidados en servidores OPC Clásicos.

Tras configurar excepciones para las VLAN, se hace posible que aquellos clientes OPC que participan de la sub-red IT, consulten a los servidores OPC. La estación SCADA maestra, participante de la VLAN para el área de automatización, también da alojamiento a un “Servidor de aplicaciones SCADA” programables con librerías WinCC para el entorno .NET (ofrecidas como módulo de software opcional).

Aunque esta propuesta no utiliza componentes de seguridad SCALANCE S, para el establecimiento de enlaces desde clientes remotos, se especifica que el acceso a la red corporativa debe realizarse necesariamente por medio de un túnel VPN IPSec.

Los extremos del túnel VPN deben ser, un router conectado directamente al cliente remoto por un lado, y la VLAN de automatización por el otro; aunque es posible instalar en el cliente un cliente Sm@rt, es de notar que el acceso remoto a los Panel RT de WinCC podría introducir un retardo tal que la operación de este resulte impráctica.

Un cliente Web puede acceder a páginas alojadas en la estación maestra SCADA, cuyo contenido se solo se puede acceder desde la red LAN.

#### **4.2.2 Segunda propuesta exploratoria: múltiples módulos CP**

Algunas características resaltantes de esta propuesta son:

- Utilización del multi-panel táctil Siemens SIMATIC MP 277 de 10 pulgadas como un Gateway que comunica el PLC de origen taiwanes, instalado en la estación para dosificado de modificadores lácteos; este es necesario ya que aunque el PLC FATEK no ofrece módulos para comunicaciones PROFINET/Industrial Ethernet, están disponibles módulos con los cuales establecer enlaces Modbus TCP.
- Compatibilidad con SIMATIC WinCC Flexible 2008 SP2/3 y con SIMATIC WinCC “SCADA” versión 7.x
- No propone la adquisición de equipos dedicados a proveer seguridad a nivel de red.
- Necesidad de una dirección IP pública, preferiblemente fija, para la interfaz WAN del CP para Industrial Ethernet 343-1 Advanced.

En todas las *estaciones con bastidor periférico* se utilizan módulos CP para comunicaciones PROFIBUS DP, o en todo caso módulos CPU con interfaz DP

incorporada de fábrica; en estas estaciones, cada PLC y su correspondiente periferia son integradas en una red a nivel de controladores, cuyo medio físico de transmisión consiste en un bus multipunto de tecnología RS-485.

Un PLC con interfaces PROFIBUS DP y PROFINET/IE<sup>31</sup>, trabaja como “unidad de transmisión remota” (RTU) realizando consultas a los participantes de la red a nivel de controladores anteriormente descrita. Los datos obtenidos se transmiten hacia la *Estación Maestra SCADA* (cuyo hardware es consiste en un PC) la cual forma parte de la red LAN de la plataforma para automatización (a nivel de supervisión).

Para las *estaciones sencillas*, que no incorporan periféricas distribuidas, cuando los paneles traen incorporado un puerto Ethernet, se utiliza un módulo CP para IE modelo 343-1 Lean para conectividad entre el PLC y la red para supervisión, el acceso de los paneles a los datos del proceso se realiza vía Ethernet. Esta configuración permite que el control remoto del panel desde la Estación Maestra SCADA no ralentice el proceso de adquisición de datos que lleva a cabo el panel.

Si los paneles solo incorporan interfaces seriales para comunicación, se utiliza un módulo CP para IE modelo 343-1 Standard; este no solo permite la conectividad entre el PLC y el sistema SCADA, sino que además es capaz de trabajar como Gateway habilitando la consulta de datos almacenados en el panel de operador asociado con la CPU.

Los datos del servidor OPC DA y del RunTime WinCC para PC (según el esquema ambos se ejecutan en la estación maestra) pueden ser consultados desde redes externas gracias a un CP 343-1 Advanced Security el cual provee funcionalidades de firewall y de Router, por lo que se mantienen aisladas la red LAN para automatización y redes WAN externas.

---

<sup>31</sup> Esta última provista por un módulo CP 343-1 Standard.

Un cliente SCADA perteneciente a una red remota WAN, requiere conexión a Internet y la instalación de un RunTime WinCC para PC, de un cliente OPC DA y permisos de acceso a datos provistos por la interfaz WAN del CP Advanced, la cual participa de la red IT empresarial (externa a la red LAN para automatización).

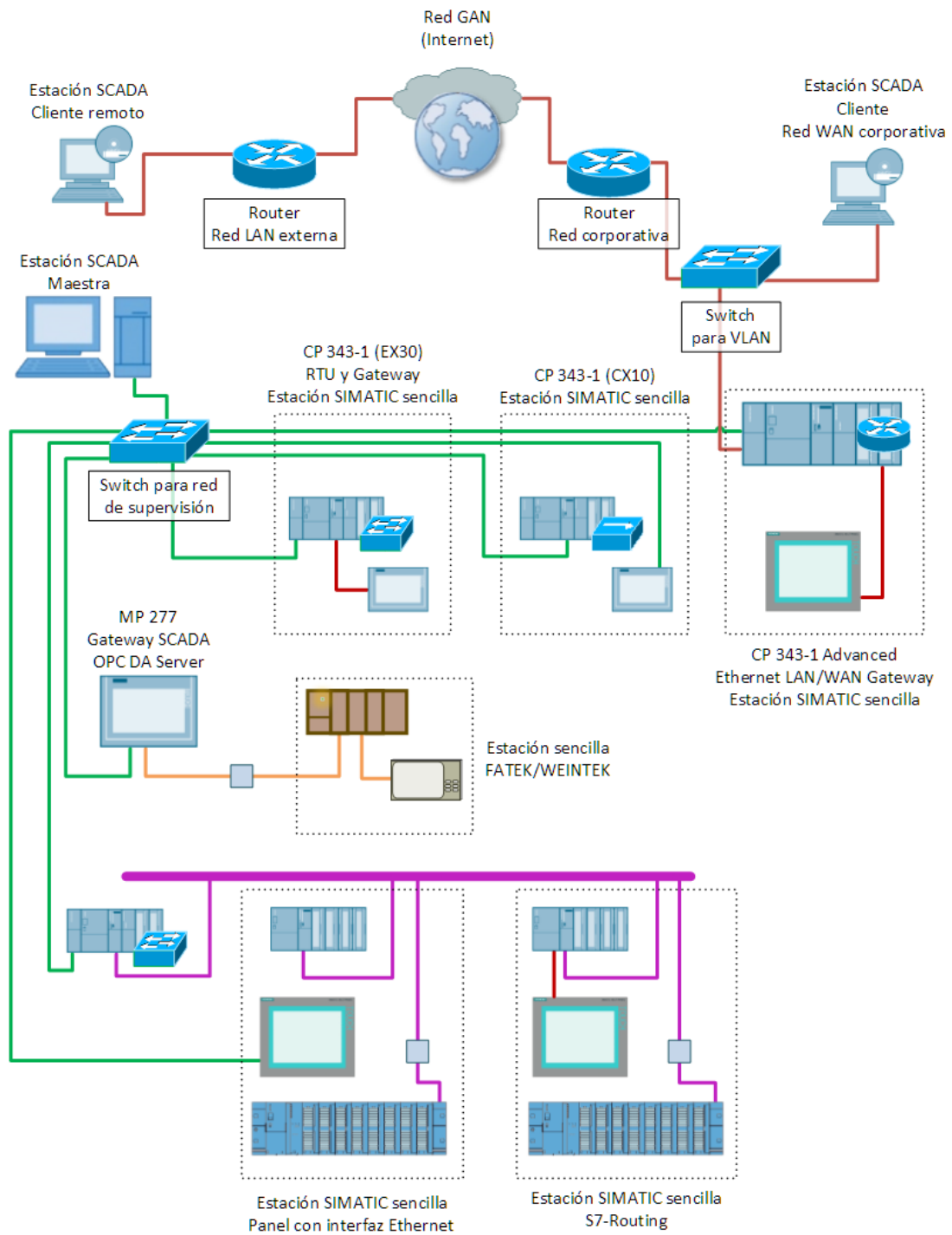


Figura 4.2: Diagrama de red donde los CP trabajan como Gateway.  
**Fuente: elaboración propia.**

## 4.3 Actividades en planta

### 4.3.1 Instalación de un banco de pruebas

Con el fin de realizar validaciones de compatibilidad entre la tecnología Siemens SIMATIC NET Industrial Ethernet y los controladores S7-300, la empresa solicitó el diseño de un *banco de pruebas SCADA*. Al finalizar las pasantías el banco de pruebas fue desmantelado con el fin de reutilizar sus componentes.

Es de resaltar que este proyecto ha utilizado:

- Un computador al cual se le asignó el rol de Estación Maestra SCADA y equipo de programación (este tuvo instalado el sistema operativo Microsoft Windows 7 Professional (32 bits)<sup>32</sup> .
- Software para ingeniería de proyectos de automatización, Siemens SIMATIC STEP7 versión 5.5 (el cual se ejecutó corre desde una máquina virtual).
- Software para proyectos HMI, WinCC flexible 2008 Service Pack 2 (con licencia Advanced).
- Un controlador lógico programable S7-300 (perteneciente a la serie 314) al cual se le ha instalado un módulo CP para redes Industrial Ethernet (343-1) modelo estándar (EX30).

Tras configurar el módulo CP para IE se pudo verificar que es posible instalar en planta, una PCN basada en la tecnología Industrial Ethernet, sin que esto ocasione problemas de compatibilidad con la plataforma de automatización actualmente en servicio.

---

<sup>32</sup> Aunque se recomienda no hacerlo en un sistema final, la misma computadora lleva instalado tanto el software de ingeniería como el Runtime WinCC Advanced para PC.

### **4.3.2 Migración a WinCC flexible 2008**

La empresa ha requerido la migración de proyectos HMI que ejecutan los paneles de operador Siemens SIMATIC HMI, instalados en cada estación; el objetivo es adaptar proyectos desarrollados con la herramienta de ingeniería Protool, al entorno WinCC flexible 2008 SP2 (herramienta de configuración vigente para paneles pertenecientes a la serie 27x).

Fueron migrados con éxito, los proyectos HMI que se ejecutan en las estaciones de: llenado de manteca, llenado de licor, planta de polvo, filtros de manteca y tanques de licor.

Los paneles con proyectos migrados, se encuentran actualmente en servicio y ejecutan el Runtime para panel (interprete de código en tiempo de ejecución) suministrado con el firmware más reciente, que se distribuye con WinCC Flexible 2008 SP2.

### **4.3.3 Entrevista con representante de ventas**

En una visita de trabajo a la empresa Cacao Real, la Ingeniero Ariana Maldonado Fernandez, representante de ventas de la empresa Siemens Venezuela expuso las diferencias entre WinCC “professional SCADA”, WinCC flexible 2008 “Advanced” y TIA Portal WinCC “Advanced”.

Durante esta exposición, fueron aclaradas dudas respecto del ciclo de vida para los equipos SIMATIC PLC S7-300, sus accesorios y el software de ingeniería asociado.

#### 4.4 Presentación de parámetros de diseño

El diseño del sistema SCADA propuesto requiere la especificación de dos sub-componentes principales; de estos, uno consiste en las aplicaciones informáticas enfocadas en la operación centralizada de sistemas automatizados y el otro, en dispositivos de red destinados a la adquisición de datos provenientes de planta.

Dado que a nivel de supervisión y control, no existe una *red para control de procesos industriales* (PCN); con el fin de proveer el medio físico de transmisión que interconecte la E.M. SCADA con los controladores lógicos programables SIMATIC S7-300, es necesario instalar/adaptar una red a nivel de supervisión y control<sup>33</sup>.

La E.M. SCADA propuesta será un punto de acceso centralizado a los datos procesados por cada controlador Siemens SIMATIC S7-300, e incluso a datos procesados por paneles de operador Siemens SIMATIC HMI. La finalidad del sistema es mejorar la coordinación entre las líneas de producción.

Fue necesario que el sistema propuesto tomase en cuenta aspectos que la empresa en su *rol de cliente*, considera de importancia crítica, así como aspectos aunque no se consideran indispensables, resultan convenientes (requerimientos obligatorios y suplementarios respectivamente).

Partiendo de un conjunto inicial de declaraciones, se han generado listados de restricciones y criterios subjetivos; solo las declaraciones más consonantes con lo exigido por la empresa, se han tomado en cuenta finalmente; por su parte, las restricciones recogen factores que están fuera del control de la empresa y del equipo de diseño.

Los cuatro listados de diseño generados se presentan en el Anexo N° 2.

---

<sup>33</sup> La empresa ha solicitado el uso de tecnología Ethernet.



## 4.5 Comparación entre plataformas evaluadas

Tras estudiar las propuestas conceptuales exploratorias, la empresa manifestó estar de acuerdo en que un sistema SCADA donde las interfaces estuviesen basadas en un entorno Runtime, es lo más conveniente para el proyecto de diseño.

Tabla 4.3: Comparativa entre ofertas basadas en Runtime.

<b>WinCC Advanced (Siemens)</b>	<b>InTouch (Schneider Electric)</b>
Esquema de licenciamiento flexible.	Escalabilidad virtualmente ilimitada.
Soporte para mini-SCADA (alcance LAN).	Soporte para SCADA distribuido geográficamente.
Compatibilidad incomparable con paneles y controladores de la plata-forma SIMATIC HMI.	Entorno para desarrollo de proyectos HMI.
Amplia librería de objetos gráficos prediseñados.	Desarrollo y mantenimiento basado en plantillas.
Carga de programas y proyectos desde punto de acceso centralizado.	Instalación y gestión de aplicaciones desde locación remota.
Gestión de seguridad basada en el control de acceso mediante Grupos y Usuarios	Seguridad a nivel de datos integrada en el sistema
Incluye amplia colección de drivers para protocolos industriales.	Soporte para recolección y análisis de datos.
Soporta emisión de reportes auto-matizados.	Generación de sencilla de reportes.
Acceso a históricos desde punto de acceso centralizado.	Acceso OPC abierto a datos históricos (con SW historiador de Wonderware)
Capaz de satisfacer requerimientos de FDA (con módulo Audit Trail).	Insuperable compatibilidad con versiones previas.

Fuente: elaboración propia.

Durante la *validación de los requerimientos obligatorios* se pudo constatar que:

- Para la plataforma Matrikon OPC (perteneciente a la empresa Honeywell) no existen oficinas comerciales ni está disponible soporte técnico en nuestro país; esto significa que el requerimiento obligatorio, al cual le corresponde la *ID de Requerimiento*<sup>34</sup> 102 no se satisface.
- Para la plataforma Wonderware, comercializada por la empresa Schneider Electric, los requerimientos obligatorios si se satisfacen; sin embargo, esta plataforma no está conforme con lo expresado en los elementos con *ID de restricción*<sup>35</sup> 202 y 203.

En consecuencia, se ha optado por evitar el desarrollo de propuestas basadas en las tecnologías Matrikon OPC y Wonderware.

Tras el descarte de las alternativas, la empresa optó por la plataforma Siemens SIMATIC WinCC; para su adopción, fue un factor determinante la oportunidad de obtener beneficios derivados de la integración vertical entre hardware y software.

---

<sup>34</sup> En el listado de «Requerimientos obligatorios» se puede consultar el enunciado, a cada elemento se le ha asignado su código ID único. Este listado es el primero del Anexo N°3.

<sup>35</sup> El listado de «Restricciones» con los enunciados para estas ID (relacionados con costos) puede ser consultado en el Anexo N°3.

## 4.6 Comparación entre productos de software SIMATIC

La marca WinCC ofrece soluciones para visualización, operación y supervisión; previamente a la liberación para el suministro del entorno integrado para ingeniería de proyectos de automatización TIA Portal, estuvieron disponibles: WinCC “advanced”, WinCC “professional” y WinCC “Open Architecture”.

Las versiones más recientes de WinCC flexible y WinCC professional, se distribuyen como módulos para TIA. El uso del entorno TIA Portal como herramienta de configuración para controladores S7-300, está restringido a aquellos componentes de automatización con versión de firmware 2.6 o superior.

Tabla 4.4: Arquitectura SCADA de cada oferta SIMATIC WinCC.

Producto	Arquitectura
WinCC Flexible licencia Advanced	miniSCADA
WinCC Professional	OPC (Clásico + UA)
TIA Portal WinCC (adv/prof)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adv: miniSCADA + OPC DA + OPC UA_DA</li> <li>• Prof: miniSCADA + OPC (Clásico + UA)</li> </ul>
WinCC OA (open architecture)	OPC (Clásico+UA), conectividad con bases de datos no desarrolladas por Microsoft.

Fuente: elaboración propia.

Las ofertas de Siemens WinCC para sistemas SCADA compatibles con la plataforma de automatización SIMATIC S7-300 y sistemas operativos Microsoft Windows 7 (o posterior) se listan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: SIMATIC WinCC y S7-300.

<b>Ofertas WinCC para sistemas SCADA compatibles con la plataforma Siemens SIMATIC S7-300 y el sistema operativo Microsoft Windows 7</b>	
<b>Software original</b>	<b>Módulo compatible con TIA</b>
WinCC <i>Flexible</i> 2008 SP2 Advanced	TIA Portal WinCC <i>Advanced</i>
WinCC versión 7.x	TIA Portal WinCC <i>Professional</i>
WinCC <i>Open Architecture</i>	No disponible

Fuente: elaboración propia.

WinCC Open Architecture ofrece amplio soporte para bases de datos que trabajan con estándares abiertos y es totalmente compatible con las propuestas OPC UA.

Tras evaluar las ofertas de software SIMATIC WinCC, se obtuvieron los valores porcentuales presentados en la Tabla 4.6; a partir de esto, se decidió trabajar con las tecnologías WinCC RT Advanced (en el Anexo N°3 – Sección 1, se exponen brevemente las características de esta plataforma).

Tabla 4.6: Resultados de evaluación mediante MCDM.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Opciones</b>	(WinCC versión 7.X)	(WinCC flexible 2008 <b>Advanced</b> )	(TIA Portal WinCC <b>Professional</b> )	(TIA Portal WinCC <b>Advanced</b> )	(WinCC Open Architecture)
<b>Resultado porcentual</b>	<b>10,63 %</b>	<b>28,27 %</b>	<b>22,92 %</b>	<b>29,17%</b>	<b>9,01 %</b>

Fuente: elaboración propia.

La selección del software a utilizar en la propuesta, ha involucrado la construcción de una *matriz para toma de decisiones basadas en múltiples criterios* (MCDM) presentada en la siguiente página (Tabla 4.7).

Tabla 4.7: MCDM para selección de software SIMATIC WinCC.

Id de opción		A	B	C	D	E
Peso de la opción		0,125	0,25	0,25	0,25	0,125
ID de Criterio	Factor de ponderación para criterio	(WinCC versión 7.X)	(WinCC flexible 2008 Service Pack ≥ 2)	(TIA Portal WinCC Professional)	(TIA Portal WinCC Advanced)	(WinCC Open Architecture)
501	4,72	3	5	4	4	2
502	10,44	0	5	0	5	0
503	26,12	4	4	4	4	2
504	16,05	4	3	5	4	5
505	42,66	2	3	2	3	2

Fuente: elaboración propia.

## CAPÍTULO V

### 5. PROYECTO DE INGENIERÍA

Este proyecto de ingeniería se compone de tres propuestas, las dos primeras son alternativas (mutuamente excluyentes) mientras que la tercera *Propuesta de seguridad* es complementaria y compatible con ambas. Las propuestas alternativas se han denominado *Propuesta económica* y *Propuesta con renovación tecnológica*.

Las propuestas alternativas especifican software y equipos a ser utilizados en la red para control de procesos; la propuesta complementaria trata sobre los componentes necesarios para implementar políticas enfocadas en la seguridad a nivel de red.

Dado que el software de configuración que requiere cada equipo puede variar (incluso de acuerdo con la versión de firmware) al final de cada propuesta se utilizan tablas para listar de forma sucinta las licencias de software necesarias para la configuración e ingeniería de los proyectos SCADA.

#### 5.1 Preliminares

Ambas propuestas prevén el establecimiento de una red para control de procesos (PCN) cuyos participantes son: los *controladores lógicos programables* (PLC) de cada estación automatizada, los paneles gráficos de operador asociados a cada PLC y la computadora que debe ser configurada como E.M. SCADA.

Con el fin de satisfacer los requerimientos de un medio físico de transmisión apropiado, se recomienda utilizar (de acuerdo con las especificaciones PROFINET/IE) cableado y conectores diseñados para soportar las condiciones propias de entornos industriales.

Sin embargo, la plataforma SIMATIC NET soporta el uso de cableado UTP y conectores RJ-45 estándar, por lo tanto podría resultar conveniente<sup>36</sup> el uso del cableado para redes IT, que está canalizado a lo largo de las salas de control.

Aunque la renovación tecnológica propuesta<sup>37</sup> simplifica la gestión de redes SIMATIC NET, esto resulta además en una mayor inversión en licencias de software; de ahí que se exponga una *alternativa económica*.

### **5.1.1 Trasfondo del proyecto**

El diseño de un sistema SCADA para la planta procesadora de cacao propiedad de la empresa Cacao Real C.A., debe satisfacer requerimientos propios de la industria alimenticia; por este motivo se ha considerado necesario plantear la instalación de funcionalidades relacionadas con auditorías para control de calidad.

Las industrias farmacéutica y alimenticia tienen en común, la necesidad de demostrar que sus procesos son llevados a cabo según estrictos estándares de calidad, los cuales pretenden evitar que se comercialicen productos con fallas o contaminados, cuyo consumo pudiese resultar un riesgo para la salud de los consumidores.

Entre los módulos de software opcionales ofrecidos para las plataformas propuestas, WinCC Flexible 2008 SP3 (Advanced) y TIA Portal versión 13 WinCC Advanced, se ofrecen características para gestión centralizada de recetas y ejecución de auditorías (estas últimas permiten verificar cada una de las acciones llevadas a cabo por los operadores de un Runtime WinCC). Los módulos de software opcionales /Recipes y /Audit para WinCC Advanced, proveen las funcionalidades mencionadas.

---

<sup>36</sup> con el fin de ahorrar costos.

<sup>37</sup> La cual consiste en la sustitución de componentes de automatización por modelos compatibles con el entorno integrado de ingeniería provisto por TIA Portal.

### **5.1.2 Análisis de impacto**

Ambas propuestas se han diseñado para lograr un mínimo impacto sobre los flujos de trabajo para operadores de estaciones automatizadas; la premisa es que una vez instalado, la operación y mantenimiento del sistema SCADA ha de resultar lo más transparente posible.

La existencia del sistema supervisor resultará evidente solo cuando un RT<sup>38</sup> para Panel (estos se ejecutan en pantallas gráficas HMI) sea operado desde la E.M. SCADA. En cuanto a fallas/caídas de la plataforma SCADA, estas no son un impedimento para el desarrollo de ningún proceso productivo.

La optimización del flujo de información acerca del progreso de los procesos que se ejecutan en cada estación, resultará en una mayor productividad; la gestión centralizada del registro para las actividades que llevan a cabo los operadores, facilitará las auditorías del departamento de calidad.

### **5.1.3 Delineamiento de propuestas**

Se propone trabajar con el protocolo S7 estándar y la tecnología de redes Ethernet; la empresa ha planteado el uso de redes industriales que extienden la tecnología Ethernet, como un requerimiento de diseño.

Este proyecto ha optado por trabajar con la plataforma tecnológica Siemens SIMATIC NET PROFINET/IE, donde la capa de red se implementa de manera acorde con las especificaciones Industrial Ethernet (IE).

Como consecuencia de las definiciones previamente expuestas, la propuesta requiere que se instalen múltiples unidades de transmisión remota, compatibles con el protocolo ISO sobre TCP; estos equipos permitirán la puesta en servicio de una PCN,

---

<sup>38</sup> Solo aquellos con soporte para el protocolo mini RDP versión



cuyo objetivo es satisfacer los requerimientos obligatorios y suplementarios propuestos por la empresa.

El software de ingeniería elegido es SIMATIC WinCC; este permite el uso del Protocolo Siemens SIMATIC S7 y enlaces para comunicaciones con equipos para operación de controladores PLC (OP device). Trabajar con el protocolo S7, evita la programación de bloques en proyectos de automatización<sup>39</sup> correspondientes a cada estación<sup>40</sup>.

El acople de los PLC S7-300 a la red IE propuesta, se hace mediante “módulos CP para Industrial Ethernet” que trabajan como unidades remotas; estos incluyen puertos PROFINET/IE y un procesador para comunicaciones embutido.

La arquitectura WinCC Advanced para sistemas SCADA mono-estación, únicamente permite la comunicación de “unidades de transmisión remota” (las RTU que en esta propuesta vienen a ser los módulos CP) con la “Base de datos E/S” alojada en la única estación maestra.

La cantidad de procesadores para datos provenientes de las remotas de cara al proceso (Front End Processor) se limita también a uno; el FEP se implementa mediante software que ejecuta el computador utilizado como E.M. SCADA<sup>41</sup>.

En contraste, los sistemas SCADA clásicos comunican varios FEP con alguna de las bases de datos SCADA que pueden ser consultadas desde las E.M.; estas se encargan de dirigir (en cada PCN) la adquisición de datos.

De acuerdo con las especificaciones ISA 99, la red interna del sistema SCADA mono-estación (la PCN) se mantendrá aislada de redes externas; la propuesta

---

<sup>39</sup> Desarrollados con el software de ingeniería STEP7

<sup>40</sup> De esta forma se las tareas de soporte y mantenimiento podrán permanecer sin cambios.

<sup>41</sup> WinCC Advanced Runtime para PC.

contempla el uso del estándar abierto OPC DA en servidores ubicados en una zona desmilitarizada “de cara a la red corporativa” con el fin de publicar datos del proceso, de esta forma quedarán al alcance de redes pertenecientes a la zona corporativa.

La E.M. se configurará como servidor OPC DA y cliente OPC XML DA. El cliente permitirá recibir los datos publicados por paneles de operador Siemens SIMATIC HMI Series MultiPanel 27x y/o Comfort; el servidor OPC DA publicará de manera automática algunos datos administrados por el WinCC Runtime Advanced para PC (mediante la base de datos Microsoft SQL integrada).

Otra forma de compartir datos con la E.M. desde un panel Simatic HMI Panel (serie 177 o superior) es el uso del protocolo SIMATIC HTTP cuya licencia se suministra como un módulo de software opcional denominado Sm@rtService.

Un gestor de datos OPC instalado en la zona desmilitarizada, podrá comunicarse con el servidor OPC DA y consultar datos del proceso, para su posterior difusión hacia la red corporativa.

La propuesta para seguridad contempla el uso del conmutador Siemens SCALANCE S623, con el fin de establecer la zona desmilitarizada y limitar el acceso remoto a la red interna (PCN) a computadores debidamente configurados mediante el programa “Siemens SCALANCE Security Client” (aplicación para configurar tunelizado VPN compatible con el protocolo IPSec).

## **5.2 Exposición de propuestas**

### **5.2.1 Propuesta económica**

La plataforma de software elegida para implementar el sistema SCADA es aquella provista con Siemens SIMATIC WinCC Flexible 2008 Service Pack 3; el hardware propuesto consiste en un conjunto de módulos CP, especializados en comunicaciones Industrial Ethernet.

La plataforma S7-300 reserva recursos de comunicación en la CPU; siempre que las tareas de operación (OP) y/o programación (PG) hagan uso del protocolo S7, es posible asegurar la disponibilidad de por lo menos un recurso de enlace.

Los paneles gráficos de operador Siemens SIMATIC HMI vigentes, soportan este protocolo y se configuran con el software para estaciones de ingeniería WinCC flexible 2008 SP3 (ES). Al utilizar un entorno diseñado para componentes SIMATIC, se simplifica enormemente el proceso de lectura de puntos remotos (también denominados “etiquetas remotas” y/o “power Tags”).

En consecuencia, el sistema SCADA propuesto requiere que cada estación garantice la disponibilidad de recursos para el establecimiento de enlaces S7. Con el fin de establecer los enlaces desde la E.M. (la cual al igual que los paneles de altas prestaciones, ejecuta el WinCC Runtime Advanced) hacia los controladores, se utilizarán módulos CP para IE.

Una vez instalado el módulo CP de cada estación, estas podrán re-direccionar tráfico S7; convirtiéndose en un Gateway para el protocolo S7. El resultado de la configuración de red propuesta, es que un equipo remoto conectado vía VPN, podrá acceder incluso a servicios provistos por el WinCC Runtime Advanced que se ejecuta en paneles de operador pertenecientes a las series 27x.

### 5.2.1.1 Estación para limpieza de granos

Se agregará un módulo CP IE 343-1 *Lean* (ágil) modelo CX10. Para la instalación del CP en el bastidor central, se utilizará la cuarta ranura del bastidor central.

Una vez establecido el enlace S7 entre la CPU 313C y el CP (CX10), el controlador podrá comunicarse a través del bus de plano posterior, con hasta 4 interlocutores, mediante el protocolo S7.



Figura 5.1: Bastidor de la estación para limpieza de granos.

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla.

La Tabla 3-1 del *Manual del Producto* para este módulo, permite verificar que es compatible con los CPU 313C; el documento certifica la compatibilidad con los siguientes números MLFB: 6ES7 313-5BE00-0AB0, 6ES7 313-**5BE01**-0AB0 y 6ES7 313-5BE03-0AB0.

A partir de los datos presentados en esta sección y de los documentos acerca la programación por bloques de este CP, se determinó que es necesario trabajar al menos con STEP7 versión 5.5 Service Pack 2.

La información relacionada con los recursos de comunicaciones para las CPU 313C, se consultó en la sección “Funciones de comunicación” de la *hoja de datos técnicos* (technical datasheet) del CPU publicada en el portal para soporte técnico de Siemens.

Aunque teóricamente es posible conectar hasta 6 módulos CP LAN, es necesario evaluar y validar caso por caso la cantidad de módulos CP IE que pueden operarse simultáneamente.

Cuadro 5.1: Software de ingeniería para de CPU 313C (5BE01) y CP IE (CX10).

<b>Equipo</b>	<b>SW de ingeniería (requerimientos mínimos)</b>
CPU 313C (5BE01)	<b>STEP 7 versión 5.2 con Service Pack 1</b> (para equipos cuyas versiones de hardware y firmware son 01 y 2.0.0 respectivamente)
CP 343-1 (CX10)	<b>STEP 7 versión 5.5 SP3 o superior</b> (compatible con el firmware versión 3.0); también se puede configurar con <b>STEP 7 v5.5 SP2+HF1+HSP1056</b>  Con TIA Portal STEP7 v11 SP2 es posible configurar únicamente funcionalidades introducidas en el firmware versión 2.4

Cuadro 5.2: Asignación de ranuras en la estación para limpieza de granos.

<b>Bastidor</b>	<b>Ranura</b>	<b>Equipo (configuración inicial)</b>	<b>Equipo (configuración final)</b>
Central (aloja al CPU)	<b>1</b>	PS	PS
	<b>2</b>	CPU 313C	CPU 313C
	<b>3</b>	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	<b>4</b>	<b>DISPONIBLE</b>	CP 343-1 (CX10)
	De la 5 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

Cuadro 5.3: Recursos para comunicación del CPU 313C (5BE01).

<b>CPU 313C</b>	<b>6ES7 313-5BE01-0AB0</b>
No es capaz de re-direccionamiento de tráfico S7	
Capacidad para 8 conexiones simultáneas	
4 enlaces se reservan para comunicaciones S7	
De estos cuatro enlaces, 1 está reservado para dispositivo HMI de operación (OP)	
De estos cuatro enlaces, 1 está reservado para dispositivo programador (PG)	
<b>ENLACES S7 DISPONIBLES</b>	<b>2</b>

Cuadro 5.4: Recursos de comunicación del CP 343-1 (CX10).

<b>CP 343-1 Lean (6GK7 343-1CX10-0XE0)</b>	
Recursos para enlaces de comunicación; protocolo S7	Hasta 4 (simultáneos)
Recursos para enlaces de comunicación; protocolos abiertos	Hasta 8 (simultáneos)
<b>MÁXIMA CANTIDAD DE ENLACES SIMULTÁNEOS</b>	<b>12</b>

En cuanto a las licencias de software, dada la sencillez de los equipos automatizados en esta estación, la operación del PLC se realiza desde el tablero eléctrico de control instalado en su armario eléctrico; la única licencia asociada a la estación para limpieza de granos, es la del software de ingeniería STEP7 (para tareas de servicio y mantenimiento).

### 5.2.1.2 Estación para acondicionamiento de cascarilla

Se propone instalar un CP IE 343-1 Lean (CX10) en la novena ranura del bastidor central. Este módulo viene con el firmware versión 3.0 y la herramienta necesaria para su configuración, es STEP7 Professional versión 5.5 Service Pack 2.

La información obtenida mediante el módulo CP, permitirá monitorizar (desde la E.M. SCADA) el progreso de cada lote de grano procesado.

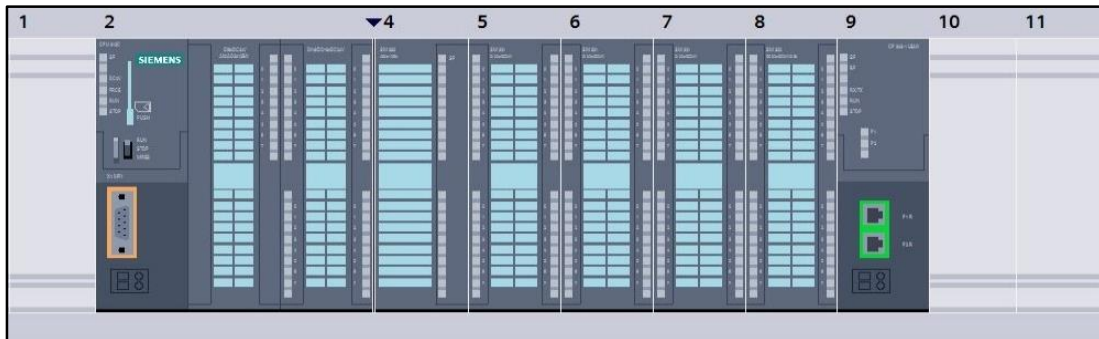


Figura 5.2: Bastidor en la estación del Shellcon.

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla

Cuadro 5.5: Software de ingeniería para CPU 313C (5BE00) y CP IE (CX10).

Equipo	SW de ingeniería (requerimientos mínimos)
CPU 313C (5BE00)	<b>STEP 7 versión 5.1 con Service Pack 2</b> (la versión de firmware para este modelo, es 1.0.0 y la de hardware 1.0)
CP 343-1 (CX10)	<b>STEP 7 versión 5.5 SP3 o superior</b> (compatible con el firmware versión 3.0); también se puede configurar con <b>STEP 7 v5.5 SP2+HF1+HSP1056</b>  Con TIA Portal STEP7 v11 SP2, es posible configurar únicamente funcionalidades introducidas en el firmware versión 2.4

En esta estación, el panel de operador es un equipo TP 270 con pantalla de 10 pulgadas; dado que ha alcanzado la última etapa de su ciclo de vida<sup>42</sup>, actualmente su equipo de repuesto es el MP 277 de 10 pulgadas, su sucesor activo.

En adelante la propuesta se desarrolla para el equipo sucesor, el cual es compatible con WinCC Flexible 2008 SP3 Advanced y con el entorno de ingeniería TIA Portal WinCC.

Es indispensable la adquisición de una licencia WinCC Runtime Advanced (128) para PC, la cual permite a la estación maestra acceder hasta a 128 etiquetas remotas (bien sea que estas pertenezcan al proyecto STEP7, a un WinCC Runtime para Panel o a un WinCC Runtime Advanced para paneles MultiPanel27x/Comfort.

Teniendo en cuenta las características del proceso llevado a cabo en esta estación (la máquina acondicionadora de granos opera por lotes y puede aplicar un tratamiento distinto tratamiento en cada iteración) se propone la instalación de las opciones /Audit, /Recipes y /OPCserver.

El nombre oficial de las licencias para el uso de estas funcionalidades en el MultiPanel, es “WinCC flexible /Audit for Panels” y “WinCC flexible /OPC-Server for MultiPanels” respectivamente; estos equipos no necesitan licencias para habilitar la gestión de récipes.

La opción /Audit permite habilitar el uso de *Buenas Prácticas de Manufactura* (GMP) en proyectos HMI; estas son de especial importancia para las industrias farmacéutica y alimenticia.

---

<sup>42</sup> En la *Notificación del producto* de ID 91688124, publicada en fecha 18/05/2014, en el portal web para soporte técnico de la empresa Siemens, se explica en detalle el ciclo de vida de producto para los paneles.



La opción OPCserver habilita la puesta en marcha de un servidor OPC DA XML con el cual reportar, hacia la E.M. SCADA, los valores de las etiquetas administradas por el panel.

Cuadro 5.6: Asignación de ranuras en la estación para acondicionamiento de granos.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
Central (aloja al CPU)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	CPU 313C	CPU 313C
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	AO4x12Bit	AO4x12Bit
	5	DI32xDC24V	DI32xDC24V
	6	DI32xDC24V	DI32xDC24V
	7	DI32xDC24V	DI32xDC24V
	8	DO32Xdc24V/0.5A	DO32Xdc24V/0.5A
	9	DISPONIBLE	CP 343-1 (Lean)
	De la 10 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

Cuadro 5.7: Recursos para comunicación del CPU 313C (5BE00).

CPU 313C	6ES7 313-5BE00-0AB0
No es capaz de re-direccionamiento de trafico S7	
Capacidad para 8 conexiones simultáneas	
4 enlaces se reservan para comunicaciones S7	
De estos cuatro enlaces, 1 está reservado para dispositivo HMI de operación (OP)	
De estos cuatro enlaces, 1 está reservado para dispositivo programador (PG)	
<b>ENLACES S7 DISPONIBLES</b>	<b>2</b>

### 5.2.1.3 Estación para remoción de cascarilla

Se propone la instalación del CP IE 343-1 Lean (CX10) en la quinta ranura del bastidor central; el modelo del CPU es idéntico al utilizado en la estación precedente.

La pantalla de operador utilizada en esta estación (Panel Táctil serie 170A con pantalla de 6 pulgadas) no es compatible con módulos opcionales para el WinCC Runtime para Panel; sin embargo el equipo ha alcanzado la etapa final de su ciclo de vida.

El desarrollo de la propuesta para esta estación, contempla el uso de un panel táctil de operador con soporte para gráficos (TP 177A) con pantalla de 6 pulgadas; la empresa Siemens ha designado este equipo como producto sucesor<sup>43</sup> del TP 170A.

---

<sup>43</sup> Actualmente solo disponible como pieza de recambio.

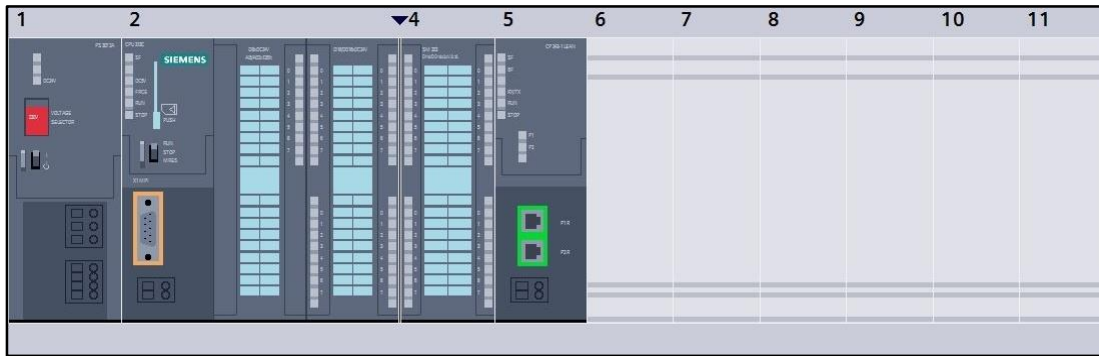


Figura 5.3: Bastidor en la estación para remoción de cascarilla.

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla.

Cuadro 5.8: Asignación de ranuras en el bastidor para remoción de cascarilla.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
Central (aloja al CPU)	1	PS 307 2A (6ES7 307-1BA00-0AA0)	PS 307 2A (6ES7 307-1BA00-0AA0)
	2	CPU 313C	CPU 313C
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	DI16/DO16x24V/0.5A	DI16/DO16x24V/0.5A
	5	<b>DISPONIBLES</b>	CP 343-1 (Lean)
	De la 6 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

El TP 177A de 6 pulgadas propuesto ofrece soporte para la opción /Sm@rtService; se propone la adquisición de esta licencia que habilita el uso del *Protocolo de escritorio remoto* (RDP) y da acceso a la configuración de un servidor RDP para Windows CE.

En adelante, no se incluye una licencia WinCC flexible RT Advanced (128) para la E.M. puesto que ya se ha incluido en la estación del Shellcon.

Al habilitar la funcionalidad Sm@rtService, es posible el acceso remoto al WinCC Panel Runtime desde un WinCC Runtime Advanced donde se ejecute un cliente /SmartClient (el cual se habilita mediante la licencia /Sm@rtAccess, únicamente compatible con equipos TP 277 y MultiPanel 27x)<sup>44</sup>.

#### 5.2.1.4 Estación para tostado

Para conectar el controlador PLC a la PCN, se ha elegido un módulo CP IE 343-1 *Standard* (EX30) con firmware versión 3.0; se propone instalarlo en la onceava (última ranura) del bastidor central.

Tras consultar el manual para módulos CP IE Std, se verificó que los CPU 6ES7315-2AG10-0AB0 y 6ES7315-2AH14-0AB0, resultan compatibles.

Para supervisar la presente estación, es necesario el diseño de pantallas representativas del proceso las cuales se deberán ejecutar en el “WinCC Runtime Advanced” instalado en la E.M. SCADA. En consecuencia se requiere la licencia para el entorno de ingeniería WinCC flexible 2008 SP3 Advanced.

El módulo CPU 315-2 DP incluye un puerto para interfaz PROFIBUS DP que soporta el rol de maestro DP Clase 2. Esta interfaz se utiliza para conexión con un bastidor periférico.

El CP 343-1 (EX11) pre-instalado en la cuarta ranura del bastidor central, forma parte de la solución mini-SCADA para operación y visualización del proceso implementada con tecnología Wonderware InTouch.

---

<sup>44</sup> Los WinCC Runtime Advanced para PC no necesitan licencias para la ejecución de clientes Sm@rt (basados en el protocolo RDP).

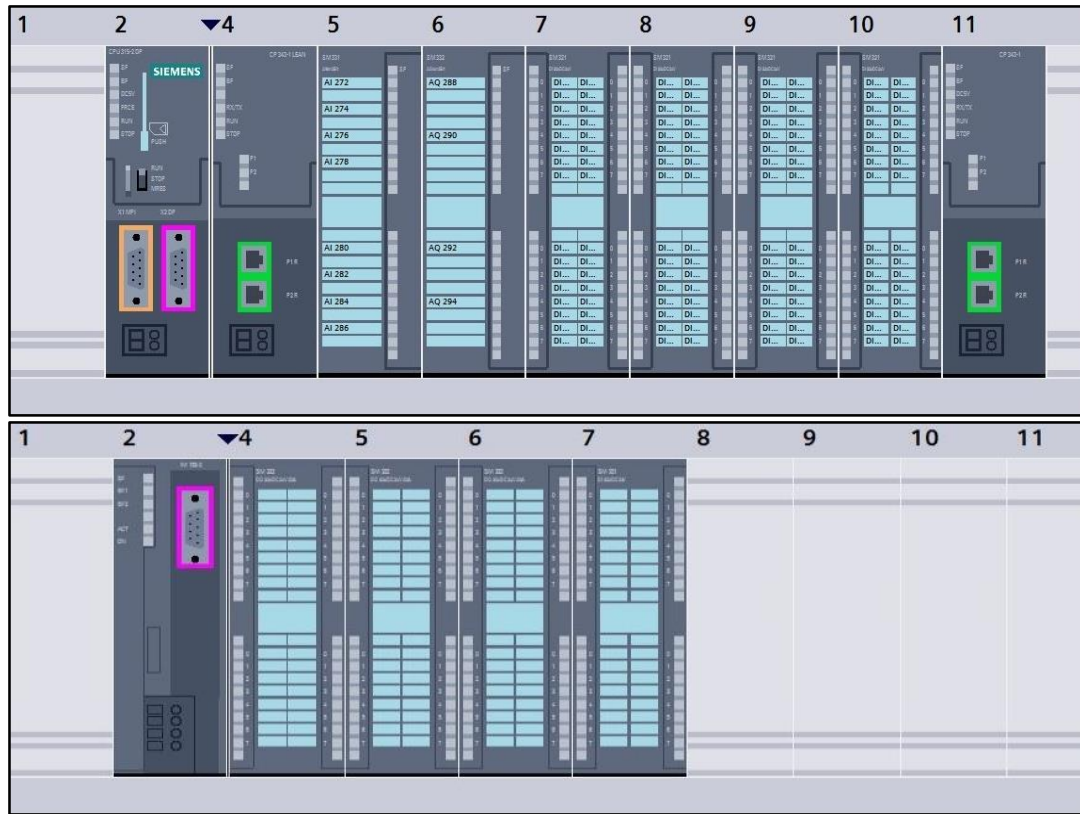


Figura 5.4: Bastidores en la estación para tostado.

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla. Arriba; bastidor central, abajo; bastidor periférico.

Cuadro 5.9: Software de ingeniería para CPU 315-2DP (AG10) y CP (EX30).

Equipo	SW de ingeniería (requerimientos mínimos)
CPU 315-2DP (AG10)	<b>STEP7 versión 5.2 con Service Pack 1</b> (la versión de firmware para este modelo, es 2.6.0 y la de hardware 1.0)
CP 343-1 (EX30)	<b>STEP7 versión V5.5, Service Pack 2, con Hotfix 4 y HSP 1057</b> permite configurar funcionalidades introducidas con el firmware 3.0. <b>TIA Portal STEP 7 versión 11 Service Pack 2, con Update 2, Professional</b> (únicamente compatible con funcionalidades del firmware 2.4)

Cuadro 5.10: Asignación de ranuras en el bastidor central del tostador.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
Central (aloja al CPU)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	CPU	CPU
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	CP 343-1 (EX11)	CP 343-1 (EX11)
	5	SM AI8X12Bit	SM AI8X12Bit
	6	SM AO4x12Bit	SM AO4x12Bit
	7	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	8	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	9	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	10	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	11	SM DI32xDC24V	CP 343-1 (EX30)

Con el fin de instalar el módulo CP en el bastidor central, se propone desplazar el módulo SM de la última ranura del bastidor (en sentido de izquierda a derecha) hacia el bastidor periférico.

Esta estación puede trabajar como Gateway entre la *red para control de procesos* propuesta para el SCADA (basada en Industrial Ethernet) y redes industriales basadas en PROFINET IO (basadas en buses de campo tipo Fieldbus).

Dado que no hay panel de operador SIMATIC HMI, no se propone el uso de licencias opcionales; las comunicaciones serán directamente entre la estación maestra y el controlador.

Cuadro 5.11: Asignación de ranuras en el bastidor periférico del tostador.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
Línea periférica #1 (conectado mediante PROFIBUS DP)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	IM 153	IM 153
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	SM DO32xDC24V/0.5 A	SM DO32xDC24V/0.5 A
	5	SM DO32xDC24V/0.5 A	SM DO32xDC24V/0.5 A
	6	SM DO32xDC24V/0.5 A	SM DO32xDC24V/0.5 A
	7	DISPONIBLE	SM DI32xDC24V
	De la 8 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

Cuadro 5.12: Recursos de comunicación del CP IE 343-1 (EX30).

<b>CP 343-1 (6GK7 343-1EX30-0XE0)</b>	
Recursos para enlaces de comunicación - protocolo S7	Hasta 16 simultáneos (máximo 8 peticiones PUT y 8 GET)
Recursos para enlaces de comunicación - protocolos abiertos	Hasta 16 (simultáneos)
<b>MÁXIMA CANTIDAD DE ENLACES SIMULTÁNEOS</b>	<b>32</b>

Cuadro 5.13: Recursos para comunicación del CPU 315-2DP (AG10).

<b>CPU 315-2DP</b>	<b>6ES7 315-2AG10-0AB0</b>
Capaz de re-direccionamiento para trafico S7	
Capacidad para 16 conexiones simultáneas	
12 enlaces se reservan para comunicaciones S7 (solo 4 se pueden utilizar para S7-Routing)	
De estos enlaces, 1 está reservado para dispositivo HMI de operación (OP)	
De estos enlaces, 1 está reservado para dispositivo programador (PG)	
<b>ENLACES S7 DISPONIBLES</b>	<b>10</b>

### 5.2.1.5 Estación para tanques de licor

Se propone un CP IE 343-1 Lean (CX10) que trabaje en conjunto con la CPU 314, este deberá instalarse en la novena ranura del bastidor central.



Figura 5.5: Bastidor en la estación para tanques de licor.

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla.



Cuadro 5.14: Software de ingeniería (para configuración de equipos).

Equipo	SW de ingeniería (requerimientos mínimos)
CPU 314 (AF10)	<b>STEP 7 versión 5.1 con Service Pack 4</b> (firmware versión 2.0.0 y hardware versión 1.0)
CP 343-1 LEAN (CX10)	<b>STEP 7 versión 5.5 SP3 o superior</b> (compatible la versión de firmware 3.0); también configurable con <b>TIA Portal STEP7 v11 SP2</b>

Cuadro 5.15: Asignación de ranuras en la estación para tanques de licor.

Bastidor	Ranura	Equipo (config. inicial)	Equipo (config. final)
Central (aloja al CPU)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	CPU 314 – firmware versión 2.0	CPU 314 – firmware versión 2.0
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	DI32xDC24V	DI32xDC24V
	5	DI32xDC24V	DI32xDC24V
	6	DO32xDC24V/0.5A	DO32xDC24V/0.5A
	7	AI8x12Bit	AI8x12Bit
	8	AO4x12Bit	AO4x12Bit
	9	DISPONIBLE	CP 343-1 (CX10)
	De la 10 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

Cuadro 5.16: Recursos para comunicación del CPU 314 (AF10).

<b>CPU 314</b>	<b>6ES7 314-1AF10-0AB0</b>
Capaz de re-direccionamiento para trafico S7	
Capacidad para 12 conexiones simultáneas	
8 enlaces se reservan para comunicaciones S7 (solo 4 se pueden utilizar para S7-Routing)	
De estos enlaces, 1 está reservado para dispositivo HMI de operación (OP)	
De estos enlaces, 1 está reservado para dispositivo programador (PG)	
<b>ENLACES S7 DISPONIBLES</b>	<b>6</b>

El panel de operador instalado, es un Panel Táctil 270 con pantalla de 6 pulgadas, el cual no soporta la instalación de módulos opcionales de WinCC Runtime Advanced; sin embargo, se ha planteado una propuesta utilizando el panel táctil TP 277 de 6 pulgadas<sup>45</sup>.

Se propone trabajar con la licencia “WinCC flexible /Sm@rtService for Panels”. El propósito es brindar acceso remoto al WinCC Panel Runtime desde un cliente inteligente (SmartClient)<sup>46</sup>.

---

<sup>45</sup> sucesor compatible de este equipo (disponible únicamente como pieza de recambio).

<sup>46</sup> Los Runtime WinCC Advanced para PC y MultiPanel permiten la ejecución de estos clientes.

### 5.2.1.6 Estación para prensado de licor



Figura 5.6: Bastidor en la estación para prensado de licor.

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla. Arriba; bastidor central, abajo; bastidor periférico.

Se propone instalar el módulo CP IE 343-1 standard (EX30) en la novena y antepenúltima ranura (en sentido de izquierda a derecha) del bastidor central.

Para conexiones hacia el bastidor central, el bastidor periférico se utiliza un módulo IM 153-1; gracias a que la periferia únicamente utiliza módulos SM, se ha evitado la adquisición de un módulo IM 153-2.

Cuadro 5.17: Asignación de ranuras en la estación para prensado de licor.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
Central (aloja al CPU)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	CPU	CPU
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	DM 370	DM 370
	5	SM AI8x12Bit	SM AI8x12Bit
	6	SM AI8x12Bit	SM AI8x12Bit
	7	SM AO4x12Bit	SM AO4x12Bit
	8	SIWAREX U-2	SIWAREX U-2
	9	DISPONIBLE	CP 343-1 (Lean)
	De la 10 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

Para el *panel táctil de operador TP 270* (con pantalla de 10 pulgadas) instalado en la sala de control de área blanca; el último sucesor activo es el panel táctil con soporte multi-tarea MultiPanel 277 de 10 pulgadas<sup>47</sup>.

La propuesta de software diseñada para el MultiPanel, propone trabajar con las licencias: WinCC flexible /Audit y WinCC flexible /OPC-server.

---

<sup>47</sup> el cual únicamente se puede adquirir como pieza de recambio

Cuadro 5.18: Asignación de ranuras en periferia de la prensa (sin cambios).

Bastidor	Ranura	Equipo	Ranura	Equipo
Línea periférica #1 (conectado mediante PROFIBUS DP)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	6	DI32xDC24V
	2	IM 153-1	7	DO32xDC24V/0.5A
	3	Reservada para módulos de extensión	8	DO32xDC24V/0.5A
	4	DI32xDC24V	9	DO32xDC24V/0.5A
	5	DI32xDC24V	De la 10 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>

Para el *panel de operador con teclas y soporte multi-tarea MultiPanel 270B* (pantalla de 10 pulgadas) instalado en planta; el último sucesor activo es el panel con teclas y soporte multi-tarea *MultiPanel 277 Teclas de 10 pulgadas*<sup>48</sup>.

Debido a las altas temperaturas existentes en el área de prensa (el panel se ha ubicado “a pie de máquina”) se ha considerado prudente mantener al mínimo la carga de procesamiento para este equipo; se propone instalar WinCC flexible /Audit y mantener así el rol de interfaz HMI secundaria.

La tercera interfaz HMI está diseñada para correr sobre la laptop de ingeniería (que corre WinCC flexible 2008 SP2 ES sobre Windows XP SP3 Professional). El proyecto HMI consiste en pantallas para el WinCC flexible 2008 SP2 Advanced Runtime, desde el cual se ajustan puntos de consigna para la prensa.

Se propone instalar (en la laptop de ingeniería) la licencia “WinCC flexible /Audit for PC” (requerida por el software Audit Viewer); con lo cual se hace posible la gestión

---

<sup>48</sup> el cual únicamente se puede adquirir como pieza de recambio

en línea de información almacenada en los *registros de auditoria* de aquellos paneles donde se ha habilitado la funcionalidad *Buenas prácticas de manufactura (GMP)*<sup>49</sup>.

#### 5.2.1.7 Estación para filtrado de manteca

Se propone instalar el módulo CP 343-1 Lean (CX10) en la onceava ranura del bastidor central.



Figura 5.7: Bastidor en la estación para filtrado de manteca.

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla.

Para el panel táctil de operador TP 270 con pantalla de 10 pulgadas, el último sucesor activo es el equipo MultiPanel MP277 de 10 pulgadas. La propuesta se ha desarrollado teniendo en cuenta el sucesor activo.

Se propone trabajar con WinCC flexible /Sm@rtAccess for Panel RT; dado que en la PCN se prevén participantes remotos (vía VPN), el servidor Sm@rt se debe configurar en modo “solo observación”.

<sup>49</sup> Las opciones /Audit y /Sm@rt son incompatibles, por lo cual las GMP tampoco son compatibles con servidores Sm@rt instalables en paneles SIMATIC WinCC.

Cuadro 5.19: Asignación de ranuras en la estación para filtrado de manteca.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
Central (aloja al CPU)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	CPU	CPU
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	5	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	6	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	7	SM DO32xDC24V/0.5A	SM DO32xDC24V/0.5A
	8	SM AI8x12Bit	SM AI8x12Bit
	9	SM AI8x12Bit	SM AI8x12Bit
	10	SM AO4x12Bit	SM AO4x12Bit
	11	<b>DISPONIBLE</b>	CP 343-1 (Lean)

### 5.2.1.8 Estaciones para llenado de producto en estado líquido

En lo que respecta a su configuración de hardware, el diseño de las estaciones para llenado de licor y manteca es idéntico; en cuanto a los componentes para automatización, la estación para llenado de manteca difiere de la estación para llenado de licor en que su CPU 314, fue sustituido por un CPU 315-2DP.

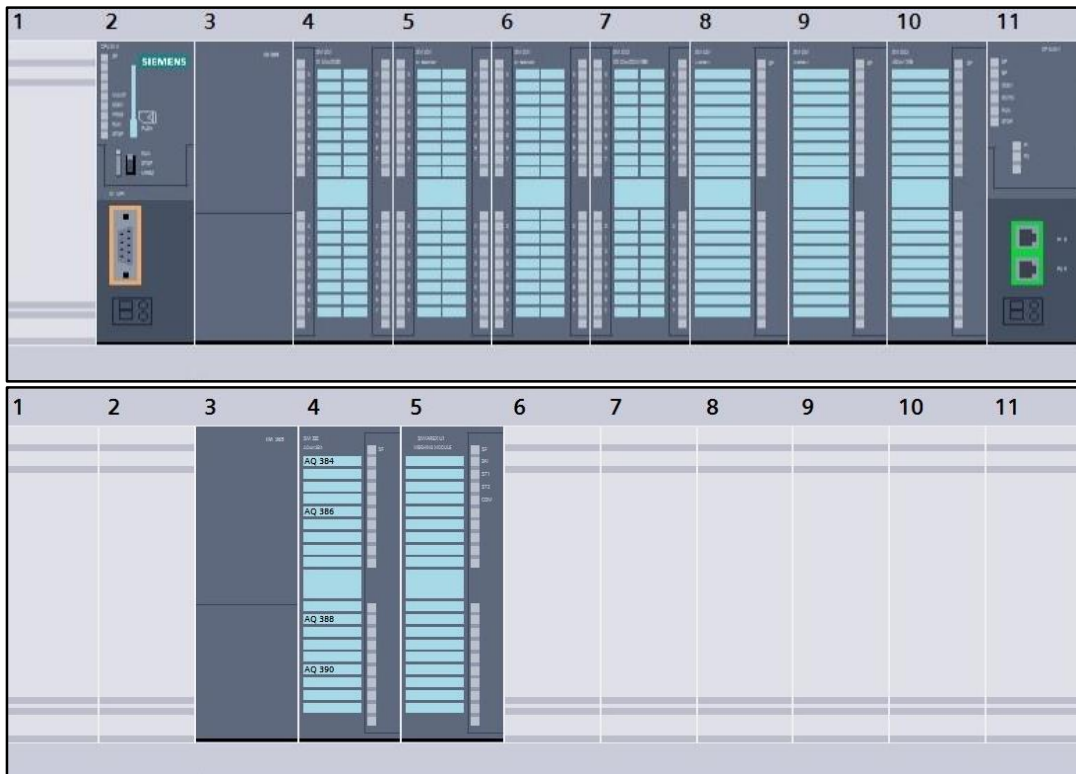


Figura 5.8: Bastidores en la estación para llenado de producto en estado líquido

**Fuente:** elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla.

Se propone instalar el módulo CP 343-1 Lean (CX10) para comunicaciones Industrial Ethernet en la última ranura del bastidor central (en sentido de izquierda a derecha).



Dado que la ranura elegida para instalar el CP está ocupada por un módulo de señal SM para salidas analógicas, es necesario liberar espacio ubicando este módulo en el bastidor de ampliación (junto con el módulo de pesaje SIWAREX).

La propuesta se ha desarrollado para un panel táctil TP 277 con pantalla de 6 pulgadas, sucesor activo de los equipos instalados en planta (este equipo únicamente está disponible como pieza de repuesto).

Para cada panel (son dos estaciones de llenado) las licencias propuestas son: “WinCC flexible /Audit for Panel RT” y “WinCC flexible /OPC-server for Panel RT”.

Cuadro 5.20: Asignación de ranuras en estaciones para llenado de producto.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
#1 - Central (aloja al CPU)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	CPU 314	CPU 314
	3	IM 365	IM 365
	4	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	5	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	6	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	7	SM DO32XDC24V/0.5A	SM DO32XDC24V/0.5A
	8	SM AI8x12Bit	SM AI8x12Bit
	9	SM AI8x12Bit	SM AI8x12Bit
	10	SM AO4x12Bit	SM AO4x12Bit
	11	SM AO4x12Bit	CP IE Lean

Cuadro 5.21: Asignación en el bastidor extendido para llenado de producto.

<b>Bastidor</b>	<b>Ranura</b>	<b>Equipo (configuración inicial)</b>	<b>Equipo (configuración final)</b>
#2 – Permite ampliar la cantidad de E/S a disposición del CPU	<b>1</b>	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	<b>2</b>	Reservada para módulos CPU	Reservada para módulos CPU
<b>Bastidor</b>	<b>Ranura</b>	<b>(configuración inicial)</b>	<b>(configuración final)</b>
#2 – Permite ampliar la cantidad de E/S a disposición del CPU	<b>3</b>	IM 365	IM 365
	<b>4</b>	SIWAREX U-1	SIWAREX U-1
	<b>5</b>	DISPONIBLE	SM AO4x12Bit
	De la 6 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

### 5.2.1.9 Estación llenado de cacao en polvo

Se propone instalar el módulo CP 343-1 (EX30) en la penúltima ranura del bastidor central. Para un equipo MultiPanel 277 con pantalla de 10 pulgadas, las licencias recomendadas son: WinCC flexible /Audit y /OPC-server for Panels.



Figura 5.9: Bastidores en estación para llenado de cacao en polvo

Fuente: elaboración propia; generada con herramienta de ingeniería TIA Portal v12, captura parcial de pantalla.

Cuadro 5.22: Asignación de ranuras en estación para llenado de cacao en polvo.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
#1 - Central (aloja al CPU)	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	CPU 315-2DP	CPU 315-2DP
	3	Reservada para módulos de extensión	Reservada para módulos de extensión
	4	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	5	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	6	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	7	SM DI32xDC24V	SM DI32xDC24V
	8	SM DO32XDC24V/0.5A	SM DO32XDC24V/0.5A
	9	SM DO32XDC24V/0.5A	SM DO32XDC24V/0.5A
	10	<b>DISPONIBLE</b>	CP IE 343-1 (EX30)
	11	<b>DISPONIBLE</b>	<b>DISPONIBLE</b>

Cuadro 5.23: Asignación en bastidor extendido para llenado de cacao en polvo.

Bastidor	Ranura	Equipo (configuración inicial)	Equipo (configuración final)
#2 – Permite ampliar la cantidad de E/S a disposición del CPU	1	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica	Reservada para fuente de alimentación de potencia eléctrica
	2	IM 153-1	IM 153-1

#2 – Permite ampliar la cantidad de E/S a disposición del CPU	3	Reservada para IM	Reservada para IM
	4	SM AI8x16Bit	SM AI8x16Bit
	5	SM AI8x16Bit	SM AI8x16Bit
	6	SM AI8x16Bit	SM AI8x16Bit
	7	SM AO4x12Bit	SM AO4x12Bit
	8	SM AO4x12Bit	SM AO4x12Bit
	9	SM AO4x12Bit	SM AO4x12Bit
	De la 10 a la 11	<b>DISPONIBLES</b>	<b>DISPONIBLES</b>

#### 5.2.1.10 Estación SCADA Maestra

En el PC que aloja la E.M. SCADA, se debe utilizar el sistema operativo Windows 7 Professional SP1; se propone trabajar con WinCC flexible 2008 SP3.

Las licencias a instalar son:

- *WinCC flexible Advanced*; para ingeniería de proyectos HMI destinados a paneles, paneles multi-proceso y computadores.
- *WinCC Flexible (512)* para compilar proyectos HMI limitados a 512 variables remotas (PowerTags).

Las licencias para módulos opcionales de software, son:

- *WinCC flexible /Sm@rtAccess for PC,*
- *WinCC flexible /OPC-Server for PC,* y
- *WinCC flexible /Archives+Recipes for PC.*

La adquisición de la primera licencia para módulos opcionales listada, tiene como objetivo habilitar los objetos para visualización (Sm@rtClient) que se pueden incorporar en proyectos HMI de WinCC Runtime Advanced para PC.

La licencia Sm@rtAccess también habilita el uso del *protocolo SIMATIC HMI HTTP*, cuyo uso simplifica la transmisión cíclica de un volumen reducido de datos (etiquetas), entre dos WinCC Runtime Advanced.

La licencia para servidor OPC permite que datos adquiridos desde equipos MultiPanel 27X (configurando en el Runtime de la E.M. enlaces hacia servidores OPC DA XML) sean posteriormente publicados; de esta forma un cliente OPC DA (participante de la DMZ propuesta) podrá consultar datos del proceso.

La última licencia mencionada permite la activación, en la base de datos SQL que gestiona el Runtime Advanced, de un registro histórico para datos. El histórico permitirá trazar gráficos de tendencias y/o consultar alarmas reincidentes para facilitar la depuración de fallas.

La licencia /Récipes para PC, permite la instalación de un programa, el cual se ejecuta en paralelo al Runtime Advanced, con el cual gestionar las recetas para cada panel.

#### 5.2.1.11 Componentes de propuesta económica

La Tabla 5.1 contabiliza los módulos CP IE propuestos; para implementar esta propuesta, no se contempla la renovación de controladores y ninguno de los paneles más recientes puede ser adquirido como producto nuevo.

A petición de la empresa, el medio físico de transmisión para los enlaces de comunicaciones establecidos mediante los módulos consiste en cableado UTP Categoría 5 que se encuentra canalizado a lo largo de piso de control.

Para maximizar la compatibilidad entre la plataforma SCADA y el hardware pre-existente (controladores S7-300 de firmware 2.6 o inferior y paneles HMI serie TP/MP 270/277) el *software de ingeniería* propuesto como herramienta de configuración es STEP7 versión 5.5 con licencia Professional y Service Pack 3 (necesario para la puesta en marcha de los módulos CP).

Tabla 5.1: Hardware propuesta económica.

Equipo "RTU"	MLFB	Cantidad	Estaciones
CP 343-1 (CX10)	6GK7 343-1CX10-0XE0	5	Limpieza de granos, acondicionamiento de cascarillas, remoción de cascarillas, tanques de licor, filtrado de manteca
CP 343-1 (EX30)	6GK7 343-1EX30-0XE0	5	Tostado de granos, prensado de licor, llenado de manteca, llenado de licor, llenado de cacao en polvo.
<i>Cantidad total de módulos</i>		10 (uno por estación)	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.2: Listado de licencias para Propuesta Económica.

Producto	MLFB	Cantidad	Uso
STEP7 versión 5.5 SP4	6ES7810-4CC10-0YE5	1	Licencia flotante para actualización desde v5.4
WinCC flexible 2008 SP3 ES	6AV6613-0AA51-3CU8	1	Licencia para actualización desde versiones previas de WinCC flexible
WinCC flexible 2008 SP3 Power Pack license	6AV6 613-2CD01-3AD5	1	Para pasar de la licencia Standard a la Advanced.
Microsoft Windows 7 professional SP1	No Aplica	1	Para la ejecución del entorno de ingeniería de proyectos HMI, WinCC flexible.
WinCC flexible 2008 SP3 Runtime 512 powertags	6AV6613-1DA51-3CA0	5	Licencia para acceder, desde WinCC Advanced PC Runtime, a 512 o menos etiquetas remotas desde la E.M.
/SmartAccess for panels	6AV6618-7AB01-3AH0	1	Necesario para activar funcionalidades SmartClient, habilitar el uso del protocolo SIMATIC HMI HTTP en equipos Multipanel y del servicio SOAP.
/SmartService for panels	6AV6618-7BB01-3AB0	2	Necesario para activar funcionalidad los servidores SmartServer, Mini Web Server y el envío automático de correo electrónico.
/Audit for panels	6AV6618-7HB01-3AH0	6	Mantiene un registro con la actividad de cada usuario.



Producto	MLFB	Cantidad	Uso
/OPC server for MultiPanels	6AV6618-7CC01-3AB0	4	Servidor OPC XML DA para acceso a datos del proceso en equipos que llevan instalada la opción Audit, incompatible con las tecnologías Sm@rt.
/OPC server for PC	6AV6618-7CD01-3AH0	1	Servidor OPC DA para publicar datos del proceso desde la E.M.
/Audit for PC	6AV6618-7HD01-3AH0	1	Laptop de ingeniería (es una aplicación externa al RunTime que requiere Windows XP)
/Archives+Recipes for PC	6AV6618-7GD01-3AH0	1	Para registro de datos históricos en base de datos SCADA del RunTime para la Estación Maestra y gestión centralizada de recetas.
/Sm@rtAccess for PC	6AV6618-7AD01-3AH0	1	Para acceso remoto a etiquetas almacenadas en los paneles

Fuente: elaboración propia.

La herramienta para diseño y configuración de proyectos de visualización, compatible con los paneles SIMATIC disponibles y el sistema operativo Microsoft Windows 7, es WinCC Flexible 2008 Service Pack 3 ES; al aplicar la licencia Advanced a este mismo software, se hace posible establecer el sistema SCADA mono-estación propuesto.

La Tabla 5.2, además de listar las licencias para herramientas de configuración, incluye aquellas licencias de software que son necesarias para la operación del sistema SCADA mono-estación.

## 5.2.2 Propuesta con renovación tecnológica

El propósito de esta alternativa es proveer un sistema compatible con el entorno totalmente integrado de ingeniería TIA Portal el cual facilita el desarrollo y mantenimiento de sistemas para automatización industrial, donde se han utilizado componentes Siemens SIMATIC.

A nivel del sub-sistema para adquisición de datos, esta propuesta es idéntica a la económica; la principal diferencia es la migración de componentes de hardware descatalogados hacia equipos que la empresa Siemens ofrece como productos sucesores.

Se ha verificado que todos los equipos sucesores recomendados, son productos vigentes, de acuerdo con el ciclo de vida planificado por el fabricante.

### 5.2.2.1 Reemplazos para controladores

Para los controladores propuestos se ofrecen modernas características liberadas para la plataforma S7-300 a partir del firmware versión 2.6; algunos de los controladores actualmente en servicio, podrían lograr compatibilidad con TIA Portal tras realizar una actualización de firmware.

Tabla 5.3: Listado con números de serie para módulos CPU.

<b>LISTADO PARA RENOVACIÓN DE MÓDULOS CPU</b>		
<b>Estación</b>	<b>CPU en servicio (MLFB)</b>	<b>CPU sucesor vigente (MLFB)</b>
<i>Limpieza de granos</i>	6ES7313-5BE01-0AB0	6ES7313-5BG04-0AB0
<i>Acondicionado de cascarillas</i>	6ES7313-5BE00-0AB0	6ES7313-5BG04-0AB0
<i>Remoción de cascarillas</i>	6ES7313-5BE00-0AB0	6ES7313-5BG04-0AB0

<b>(Continuación de Tabla 5.3)</b>		
<b>Estación</b>	<b>CPU en servicio (MLFB)</b>	<b>CPU sucesor vigente (MLFB)</b>
<i>Tostado</i>	6ES7315-2AG10-0AB0	6ES7 315-2AH14-0AB0
<i>Tanques de licor</i>	6ES7 314-1AF10-0AB0	6ES7314-1AG14-0AB0
<i>Prensado de licor</i>	6ES7 315-2AG10-0AB0	6ES7 315-2AH14-0AB0
<i>Filtrado de manteca</i>	6ES7 314-1AF10-0AB0	6ES7314-1AG14-0AB0
<i>Llenado de licor</i>	6ES7 314-1AF10-0AB0	6ES7314-1AG14-0AB0
<i>Llenado de manteca</i>	6ES7 314-1AF10-0AB0	6ES7314-1AG14-0AB0
<i>Llenado de cacao en polvo</i>	6ES7 315-2AG10-0AB0	6ES7 315-2AH14-0AB0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.4: Módulos CPU en servicio actualizables a firmware 2.6

<b>Modelo de CPU, cantidad, MLFB</b>	<b>¿Actualizable al firmware 2.6?</b>	
	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<i>CPU 313C (x3)</i> 6ES7 313-5BE01-0AB0		<b>X</b>
<i>CPU 314 (x2)</i> 6ES7 314-1AF10-0AB0		<b>X</b>
<i>CPU 314 (x1)</i> 6ES7 314-1AG13-0AB0	<b>X</b>	
<i>CPU 315-2DP (x3)</i> 6ES7 315-2AG10-0AB0	<b>X</b>	

Fuente: elaboración propia.

Los módulos de pesaje SIWAREX U, compatibles con TIA Portal se presentan en la siguiente tabla<sup>50</sup>.

Tabla 5.5: Módulos SIWAREX compatibles con TIA Portal.

Estación	En servicio (MLFB)	Compatible con TIA Portal (MLFB)
<i>Prensado de licor</i>	U2 7MH4601-1BA01	U2 7MH4950-2AA01
<i>Llenado de producto en estado líquido</i>	U1 7MH4601-1AA01	U1 7MH4950-1AA01

Fuente: elaboración propia.

#### 5.2.2.2 Reemplazos para paneles

Aunque algunos paneles Siemens SIMATIC HMI pertenecientes a la serie 277, son compatibles con TIA Portal, estos son productos descatalogados sin sucesores directos; de acuerdo con lo sugerido en las guías<sup>51</sup> para migración hacia el entorno integrado, se recomienda adquirir paneles pertenecientes a las nuevas líneas de equipos para HMI: Basic y Comfort.

El uso de TIA Portal resulta en un conjunto de licencias de software distinto al presentado en la propuesta económica; sin embargo, para la mayoría de las licencias WinCC flexible 2008 RT /Option existe una licencia TIA Portal WinCC Advanced RT /Option similar.

---

<sup>50</sup> El módulo para pesaje SIWAREX U1 7MH4950-1AA01 está cancelado, la empresa Siemens propone su reemplazo por equipos U2 compatibles con TIA Portal STEP7.

<sup>51</sup> Publicadas por Siemens en el su portal web corporativo para soporte técnico.

Solo en paneles de operador pertenecientes a las series TP/MultiPanel 277, es necesario actualizar el firmware hacia la versión 11.0.2.0 (para lograr compatibilidad con el entorno integrado de ingeniería provisto por TIA Portal).

Los paneles actualmente en servicio, compatibles con TIA Portal, pertenecen a la serie 277 (los TP 277 de 6”). Desde el año 2015, los equipos pertenecientes a las series 277, solo se pueden adquirir bajo contrato para soporte extendido.

Tabla 5.6: Paneles SIMATIC HMI propuestos como reemplazo.

<b>MLFB sucesor propuesto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Equipo actualmente en servicio</b>	<b>Estación</b>
6AV6642-0BC01-1AX1 <b>TP 177B 6”</b> o 6AV6647-0AB11-3AX0 <b>KTP 600 Basic Mono PN</b>	1	TP 177A 6”	Remoción de cascarillas.
6AV2124-0MC01-0AX0 <b>TP 1200 Comfort</b>	5	TP 270 10” (4) MP 270B 10” (1)	Acondicionado de granos, prensado de licor, filtrado de manteca, llenado de cacao en polvo.
6AV2124-0GC01-0AX0 <b>TP 700 Comfort</b>	3	TP 270 6” (2) TP 277 6” (1)	Tanques de licor, llenado de licor, llenado de manteca.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.7: Licencias para nuevos paneles.

<b>Estación</b>	<b>Panel</b>	<b>Licencias necesarias para opciones WinCC flexible 2008 Advanced</b>	<b>Licencias necesarias para opciones TIA Portal WinCC Advanced</b>
<i>Destoner</i>	No aplica	No aplica	No aplica
<i>Shellcon</i>	TP 1200	Audit, Recipes, OPC-Server	Audit
<i>Winnower</i>	KTP 600	SmartService	No aplica
<i>Tostador</i>	No aplica	No aplica	No aplica
<i>Tanques de licor</i>	TP 700	SmartService	SmartServer
<i>Prensa (1)</i>	TP 1200	Audit, OPC-Server	Audit
<i>Prensa (2)</i>	TP 1200	Audit	Audit
<i>Prensa (3)</i>	PC con WinXP Prof SP3	Audit for PC	Audit for PC (WinCC flex)
<i>Filtro de manteca</i>	TP 1200	SmartAccess	SmartServer
<i>Llenado producto líquido</i>	TP 700	Audit, OPC-Server	Audit (x2)
<i>Llenado de polvo</i>	TP 1200	Audit, OPC-Server	Audit
<i>Estación Maestra</i>	PC con Windows 7 Prof SP1	SmartAccess, OPC-Server (ambas “para PC”)	Recipes, Logging, Audit, SmartServer (para PC)

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2.3 Componentes de propuesta con renovación tecnológica

A continuación se la propuesta para adquisición de componentes resumida mediante tres tablas.

Tabla 5.8: Módulos S7-300 propuestos como reemplazo.

<b>Equipo</b>	<b>MLFB</b>	<b>Cantidad</b>
CPU 313C	6ES7313-5BG04-0AB0	3
CPU 314	6ES7314-1AG14-0AB0	4
CPU 315-2DP	6ES7315-2AH14-0AB0	3
SIWAREX U2	7MH4950-2AA01	3
CP LAN – 343-1 (IE CX10)	6GK7343-1CX10-0XE0	5
CP LAN – 343-1 (IE EX30)	6GK7343-1EX30-0XE0	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.9: Paneles SIMATIC HMI propuestos como reemplazo.

<b>Equipo</b>	<b>MLFB sucesor propuesto</b>	<b>Cantidad</b>
KTP 600 Mono Basic PN	6AV6647-0AB11-3AX0	1
TP 1200 Comfort	6AV2124-0MC01-0AX0	5
TP 700 Comfort	6AV2124-0GC01-0AX0	3
SD Card 2 GB	6AV2181-8XP00-0AX0	8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.10: Listado de licencias para propuesta con renovación tecnológica.

Producto	MLFB	Cantidad	Uso
Windows 7 professional SP1	No Aplica	1	Sistema operativo necesario para ejecutar el software TIA Portal en la estación maestra y un PC dedicado a los proyectos de ingeniería SIMATIC.
SIMATIC STEP 7	6ES7810-4CC10-0YE5	1	Actualización de Standard <V5.4 a V5.5 Floating License
SIMATIC WinCC Comfort V13 SP1 Actualización	6AV2101-4AA03-0AE5	1	para pasar de WinCC flexible 2008 Standard a WinCC Comfort V13 SP1
SIMATIC WinCC Advanced V13 SP1 Runtime (128)	6AV2104-0BA03-0AA0	1	Para la estación maestra
SIMATIC WinCC /Sm@rtServer	6AV2107-0CP00-0BB0	2	for SIMATIC Panels
SIMATIC WinCC /Audit	6AV2107-0RP00-0BB0	6	for SIMATIC Panels
WinCC flexible 2008 SP3 /Audit	6AV6618-7HD01-3AH0	1	Para computador portátil dedicado a programación e ingeniería
WinCC Advanced Runtime /Audit	6AV2107-0RA00-0BB0	1	Para la estación maestra
WinCC Advanced Runtime /Recipes+Logging	6AV2107-0HA00-0BB0	1	Para la estación maestra
WinCC Advanced Runtime /Sm@rtServer	6AV2107-0CA00-0BB0	1	Para la estación maestro

Fuente: elaboración propia.



### 5.2.3 Propuesta para seguridad de red

En el diseño de la red Ethernet para control de procesos propuesta para la planta procesadora de cacao, se ha utilizado como guía la norma ISA 99; esta norma promueve el concepto de “seguridad en profundidad” y se centra en las medidas para brindar **seguridad a nivel de red**.

Dado que implementar medidas para seguridad de redes y sistemas industriales, requiere un enfoque distinto al utilizado en redes y sistemas informáticos; las características de la red Ethernet empresarial actualmente en servicio son tales que las políticas de seguridad no resultan suficientes. La norma ISA 99 define conceptos tales como “zonas de seguridad” y “conductos de seguridad” que hasta el momento no han implementados.

Tal como se ha representado en la Figura 2.3 “Diagrama simplificado para zonas de seguridad ISA 99.5” del Capítulo 2, la norma ISA 99 recomienda aislar tanto redes industriales como redes corporativas mediante zonas desmilitarizadas (DMZ) también conocidas como redes perimetrales.

Sin embargo, con el fin de evitar que la propuesta incluya modificaciones sobre esta red (las cuales requerirían la aprobación del departamento de informática) el presente documento se limita a la red PCN a nivel supervisor.

El esquema conceptual para la red empresarial se presenta en la Figura 5.10. En el diagrama se hace notar que aun cuando la red para control de procesos y su red perimetral pertenecen a una misma VLAN (la “VLAN para salas de control”) ambas pertenecen a distintas zonas, y en consecuencia las políticas de seguridad a aplicar en cada una son distintas.

La red SIMATIC NET propuesta utiliza equipos pertenecientes a las líneas de productos SIMATIC S7-300 y SCALANCE S. El protocolo para transporte de datos en la red es Industrial Ethernet y se ha decidido trabajar con enlaces establecidos mediante el protocolo S7 sobre TCP.

El equipo firewall representado en el esquema topológico bajo la etiqueta HW-Firewall, el Switch SCALANCE S623, es un dispositivo para seguridad de red que además de facilitar el acceso tunelizado VPN desde redes externas hacia la red industrial (PCN), provee funcionalidades de firewall para sesiones con soporte para redes perimetrales.

La DMZ propuesta “de cara a la red corporativa”, alojará a las estaciones de trabajo para intendentes ubicadas en piso de control (que actualmente participan de la VLAN para piso de control) y a un servidor que ejecutará el cliente OPC DA.

Aislar la red PCN del exterior hace necesario el uso del cliente OPC DA (ubicado en la DMZ) como un intermediario capaz de publicar información generada por el proceso, al alcance de estaciones de trabajo participantes de la “red en piso administrativo”.

Los datos publicados por el servidor OPC DA, se mantendrán al alcance de la red DMZ de procesos; el cliente OPC se deberá configurar para realizar consultas periódicas al servidor.

El mismo cliente OPC actuará como anfitrión para aplicaciones .NET desarrolladas a la medida, con las cuales es posible poner a disposición de clientes (que se ejecutan en participantes de la “red en piso administrativo”) indicadores y gráficos de tendencias basadas en los datos OPC DA.

Una vez en servicio la PCN, es posible la programación y/o servicio remoto de los PLC así como de los paneles de operador TP/MP 277 participantes del sistema SCADA, tanto desde la zona corporativa como desde redes pertenecientes a la zona externa; la configuración de los enlaces difiere en cada caso.

Los equipos pertenecientes a la zona corporativa necesitaran de una segunda tarjeta de red a la cual asignar una dirección IP fija, compatible con el esquema de asignación de direcciones IP aplicado en la VLAN para salas de control.

Los equipos pertenecientes a redes externas, necesitan además establecer un túnel VPN que haga uso de la tecnología IPSec.

Tabla 5.11: Componentes de seguridad SCALANCE.

Equipo	MLFB	Ubicación
SCALANCE S623	6GK5623-0BA10-2AA3	Red Empresarial
SCALANCE S612	6GK5612-0BA10-2AA3	Red Externa

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.12: Software de configuración para componentes SCALANCE.

Producto	MLFB	Uso
Softnet Security Client (SSC)	6GK1704-1VW04-0AA0	Configuración de túneles VPN

Fuente: elaboración propia.

Se ha listado un switch SCALANCE S612 el cual es necesario para establecer un túnel VPN de tecnología IPSec, aunque no forma parte de la red PCN; este equipo va conectado a un computador remoto, que estando físicamente separado de la red PCN, desee participar en esta (miembro de una red perteneciente a la zona externa).

### 5.2.3.1 Cambios en la red empresarial

En la Figura 5.10 se presenta un diagrama de red construido con información adquirida durante la etapa de levantamiento de información, en este se describe de forma sucinta la red corporativa actual.

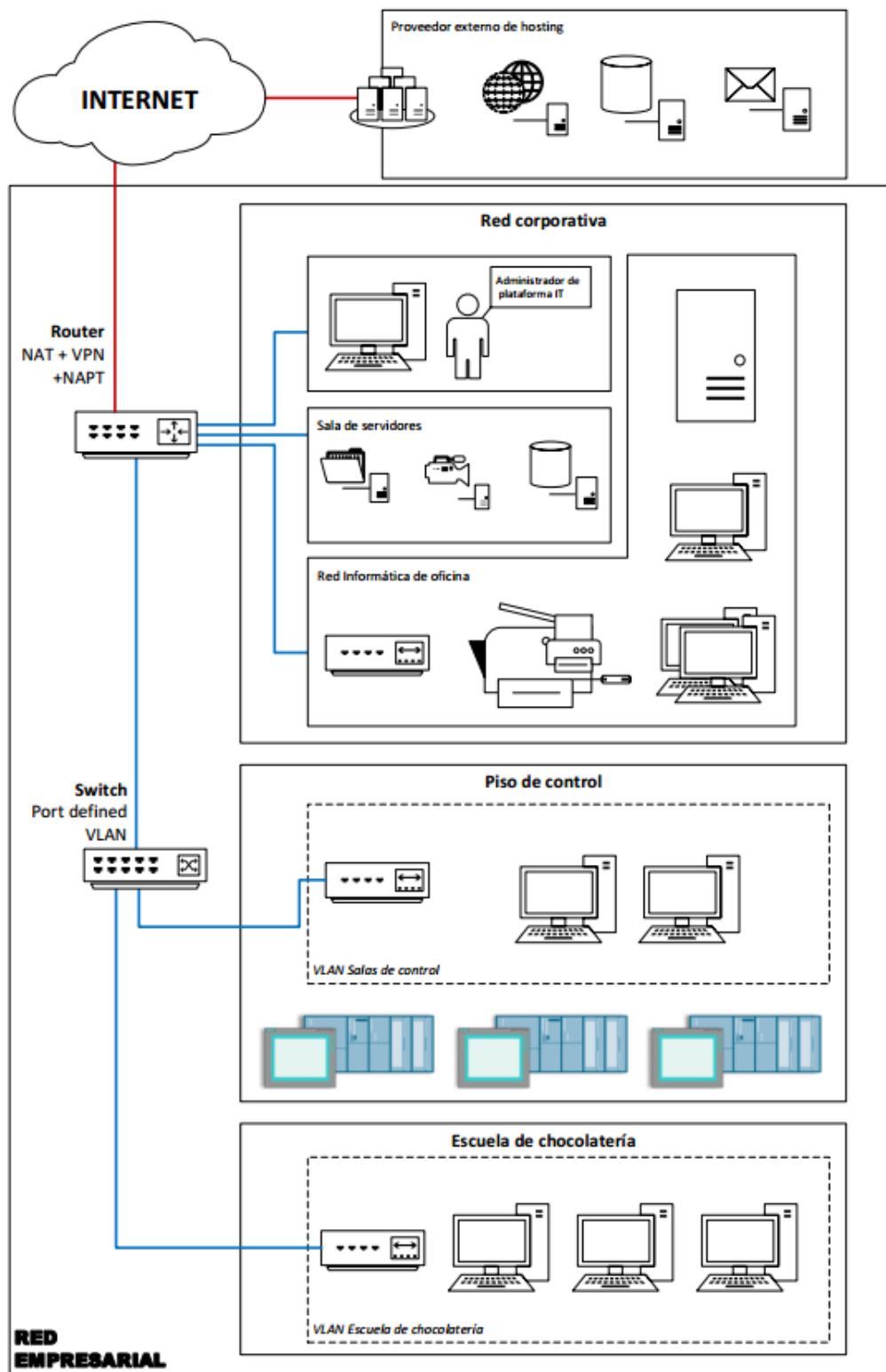


Figura 5.10: Red Empresarial actual.  
Trabajo Especial de Grado 2015, Elaboración propia.

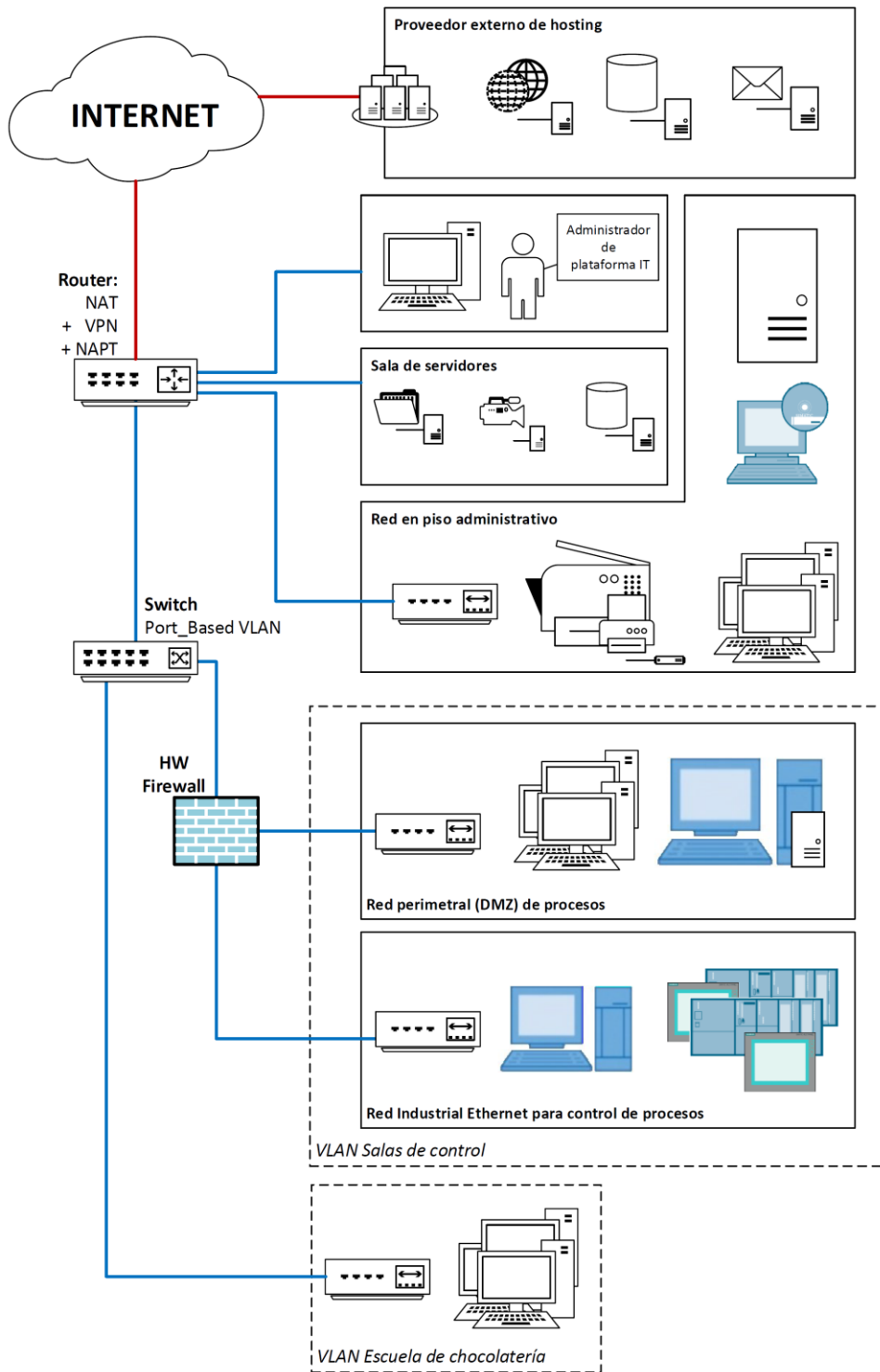


Figura 5.11: Red Empresarial propuesta.  
 Trabajo Especial de Grado 2015, Elaboración propia.

#### **5.2.4 Diagrama de red para control de procesos**

El concentrador (HUB) Ethernet que se puede observar a la izquierda del módulo SCALANCE S623 (con funciones para seguridad) facilita los puertos para conectar cada estación con la PC (E.M. SCADA) y un dispositivo programador (PG) el cual se ha representado mediante una laptop.

El HUB para la red perimetral (enmarcada a la derecha del SCALANCE S623) facilita la interconexión entre las computadoras para intendentes instaladas en piso de control, las redes externas y un equipo configurado para la publicación de datos OPC.

El cliente OPC se encarga de poner los datos OPC DA, provistos desde la E.M., al alcance de equipos que participan en la red a nivel corporativo.

El módulo Siemens SCALANCE S623 es un conmutador/cortafuegos de tres puertos, el cual resulta especialmente conveniente para trabajar con redes SIMATIC NET basadas en Industrial Ethernet; gracias a la integración vertical, el uso de software SIMATIC simplifica la puesta en servicio de una red perimetral de cara a la zona corporativa.

La red perimetral o DMZ, es necesaria para evitar que fallas de seguridad en la zona corporativa puedan tener un impacto negativo en la zona de producción (y viceversa); la norma ISA 99 recomienda mantener, física y lógicamente aisladas, las redes industriales y corporativas.

Cuando el acceso remoto a la PCN, debe hacer uso de redes inseguras (untrusted networks) donde no es posible validar de forma inequívoca la identidad de cada uno de sus participantes, ISA 99 recomienda el establecimiento de conductos para comunicación en los cuales se han de implementar medidas enfocadas a mantener la seguridad de los datos transmitidos.

En el Anexo N°3 – Sección 2, se muestran y describen brevemente los componentes de red válidos para ambas propuestas; en la Sección 3 se explican estación por estación, los enlaces de red necesarios para el sistema SCADA.

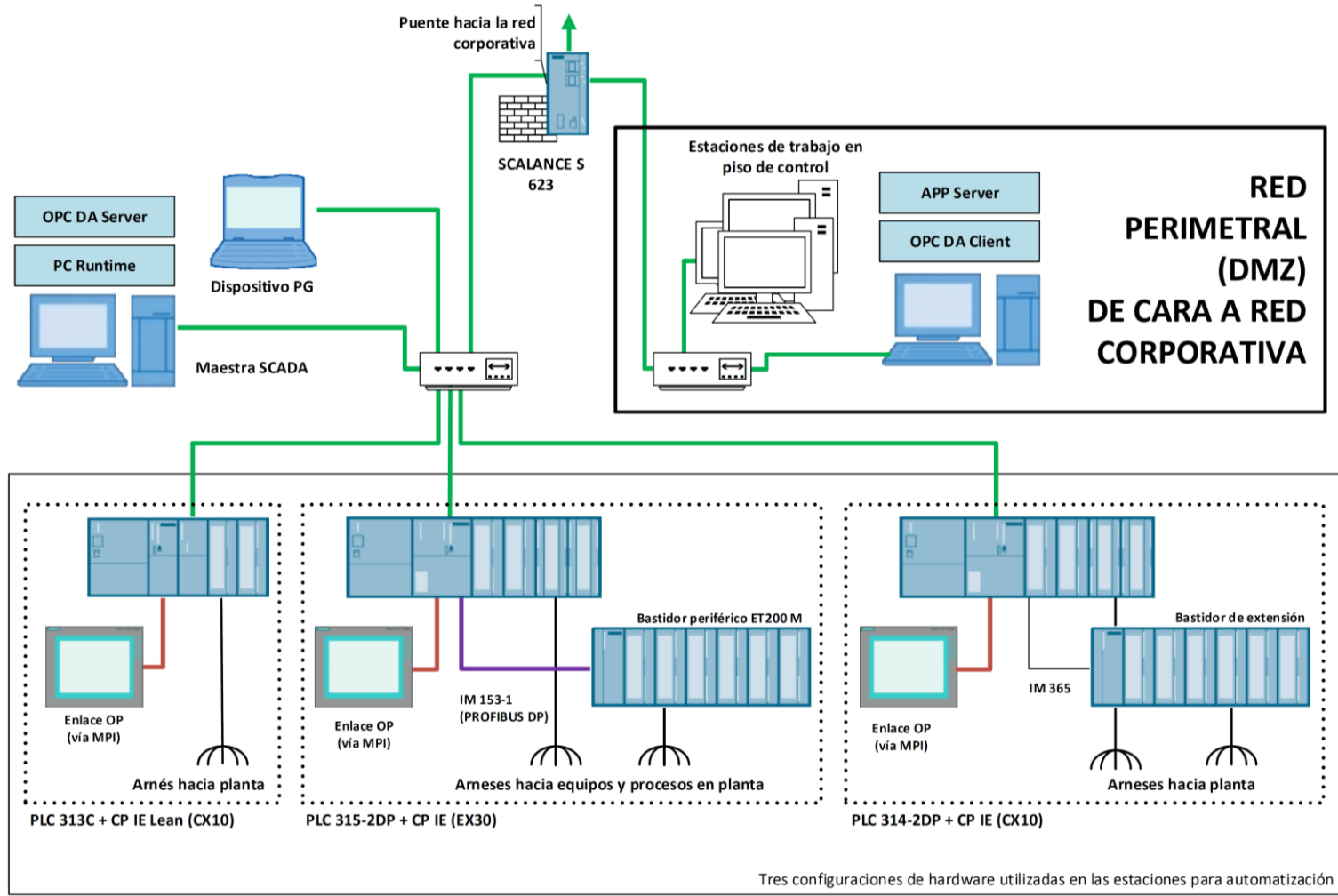


Figura 5.12: Red Industrial Ethernet propuesta para control de procesos.  
Fuente: elaboración propia.

### **5.2.5 Puesta en marcha de las propuestas**

La instalación y puesta en servicio de un módulo SIMATIC S7-300 CP LAN, dispositivo que provee los recursos necesarios para que el software SCADA pueda comunicarse con cada CPU instalada, es la principal modificación propuesta para la plataforma de automatización; se propone instalar estos equipos en cada una de las estaciones.

Pasos indispensables para la puesta en servicio de los CP para redes IE:

- Asignación de una ranura lógica (con la utilidad HW Config), y
- Asignación de dirección IP (utilizar direcciones IP manualmente asignadas).

La posterior configuración de cada enlace entre un módulo CP y la PC (estación maestra) del sistema SCADA, requiere la especificación de varios parámetros de conexión; trabajar con SIMATIC WinCC Advanced, simplificará el proceso.

En el documento [1], se expone una metodología para establecer túneles VPN entre los conmutadores SCALANCE S623 y computadores clientes que ejecutan el Softnet Security Client.

El documento [2] expone la metodología recomendada para establecer una red perimetral utilizando el conmutador SCALANCE S623 propuesto.



## **5.3 Observaciones acerca de las propuestas**

### **5.3.1 Propuesta económica**

1. Solo los equipos gráficos con capacidad de multi-tarea (MultiPanel) soportan funcionalidades SmartClient, por este motivo solo se propone la adquisición de dos licencias de este tipo (una para paneles y otra para PC).

Además la capacidad de realizar auditorías se considera más relevante que la operación remota de paneles; dado que la opción /Audit es incompatible con la tecnología /Sm@rt, varios multipaneles deberán utilizar un servidor OPC DA para transmitir variables, propias y/o adquiridas desde el proceso, hacia la E.M.

### **5.3.2 Propuesta con renovación tecnológica**

1. La renovación tecnológica hace necesario sustituir el enlace serial PROFIBUS DP entre cada PLC y su panel de operador por un enlace IE; esto aplica a paneles Basic PN, los cuales no disponen de puerto Serial/MPI (compatible con PROFIBUS).
2. Solo los equipos con capacidad de multi-tarea (paneles Comfort y computadores donde se ejecuta el Runtime Advanced) soportan la tecnología Sm@rt.

### **5.3.3 Propuesta de seguridad**

1. En el listado de componentes para esta propuesta, se ha incluido un switch SCALANCE S612 el cual resultará necesario para establecer un túnel VPN de tecnología IPSec.

Este equipo, que no forma parte de la red para control de procesos, va conectado a un computador remoto (miembro de una red perteneciente a la zona externa) el cual, gracias a la tecnología VPN podrá participar en la PCN disfrutando de las mismas funcionalidades que aquellos equipos que están físicamente conectados a ella.

## CONCLUSIONES

En este trabajo de grado se generaron dos propuestas de diseño para un sistema miniSCADA con el cual supervisar de forma segura el proceso de producción automatizado, que se lleva a cabo en la planta industrial de la empresa procesadora Cacao Real C.A. Estas se han denominado: Propuesta con renovación tecnológica y Propuesta Económica, acerca de las cuales se concluyen los siguientes puntos:

- Tras realizar el levantamiento de información sobre el sistema de automatización existente en la planta procesadora de cacao, se determinó que en su mayoría, este se basa en los PLC Siemens SIMATIC serie S7-300.
- A partir de los criterios planteados por la empresa, enfocados en obtener un sistema que permita conocer «en tiempo real» la evolución de los distintos procesos en planta, se generaron un conjunto de requerimientos obligatorios y suplementarios.
- Las propuestas cumplen con los requerimientos obligatorios y suplementarios; ambas se basan en el establecimiento de una red a nivel de control de procesos (PCN) que utiliza el protocolo Industrial Ethernet.
- Parte del cableado necesario para la red PCN se encuentra disponible en piso de control<sup>52</sup>. La PCN propuesta es compatible con los controladores presentes en el proceso.

---

<sup>52</sup> Fue instalado como parte de la VLAN mediante la cual las estaciones de trabajo ubicadas en piso de control tienen acceso a Internet.

- Ambas propuestas incorporan un nivel de seguridad apropiado para permitir el acceso desde Internet (acceso remoto con fines de soporte y/o mantenimiento) así como el acceso LAN a datos del proceso.
- Los equipos para seguridad de red incluidos en las propuestas, son capaces de satisfacer recomendaciones publicadas en la norma IEC 62443 (ISA 99) sobre la PCN sin afectar las políticas de seguridad actualmente implementadas en la red corporativa.
- La plataforma escogida para el desarrollo del sistema miniSCADA, es Siemens SIMATIC WinCC con versión “Advanced”; esta elección toma en cuenta que el entorno RunTime (basado en tecnología .NET) ofrece simplicidad de instalación, requiere poco mantenimiento y dispone de amplio soporte técnico.
- Durante la generación de las propuestas, al proponer la adquisición de licencias para software, se tomó en cuenta aquello publicado en la regulación FDA 21 CFR Parte 11 “Grabación de datos electrónicos y firmas electrónicas” que aplica a la industria alimenticia y farmacéutica.
- La propuesta del sistema miniSCADA con renovación tecnológica requiere una importante inversión, esta incluye soporte para publicación en redes de datos con alcance WAN (mediante servidores OPC UA).
- La propuesta económica para un sistema miniSCADA emplea equipamiento actualmente instalado, pero su vida útil resulta limitada por el ciclo de vida de la plataforma existente, mediante servidores OPC DA cuyos datos pueden ser publicados en redes con alcance LAN.

- Para cada propuesta se generaron listados donde se especifican equipos y licencias necesarias para implementar el sistema miniSCADA, el listado de dispositivos de red (incluye dispositivos dedicados a la seguridad y adquisición de datos) es válido para ambas propuestas. En las propuestas se especifica el tipo de equipo, su ubicación y el software necesario para su puesta en funcionamiento.
- Las alternativas comerciales bajo estudio son igualmente competentes para satisfacer los requerimientos obligatorios y suplementarios planteados.
- Durante las pasantías se migraron a WinCC flexible, proyectos HMI desarrollados con Protool; resultando en una extensión de la vida útil de los paneles gráficos en servicio.
- La instalación de un banco de pruebas para comunicaciones Industrial Ethernet ha permitido validar la compatibilidad de los módulos CP propuestos con el software SCADA y la plataforma de automatización Siemens SIMATIC S7-300.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a que el hardware adquirido por la empresa para el banco de pruebas (módulo CP para Industrial Ethernet, SIMATIC 343-1 EX30) se ha configurado utilizando licencias de prueba para STEP 7 versión 5.5, la puesta en servicio de este módulo requiere la adquisición de licencias para actualización de STEP 7 versión 5.4.
2. Dado que WinCC soporta importantes protocolos industriales, se recomienda realizar un estudio que evalúe la factibilidad de incorporar, al sistema miniSCADA propuesto, los controladores Honeywell ubicados en el área de la caldera y el controlador Fatek, instalado en la línea para dosificado de modificadores lácteos; estos no forman parte de las propuestas puesto que no pertenecen a la plataforma Siemens SIMATIC S7-300.
3. Siendo la seguridad un tema de especial importancia, se propone el desarrollo de trabajos de grado donde se estudien las dificultades que representa una implementación conforme a la norma IEC 62443 (ISA-99), enfocado en sistemas de automatización donde la red a nivel de supervisión emplea protocolos industriales basados en Ethernet.
4. La migración hacia el entorno de desarrollo totalmente integrado “TIA Portal”, contemplada en la propuesta con renovación tecnológica, es la solución preferida en este trabajo; sin embargo se debe realizar una evaluación costo/beneficio.
5. Aunque la red para control de procesos (PCN) propuesta provee mecanismos para el acceso remoto vía VPN, un adaptador TeleService IE Standard facilitaría el establecimiento de enlaces para soporte y mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rockwell Automation, “Flexible solutions for your supervisory control and data acquisition needs”, Rockwell Automation, Application Guide AG-SG001G-EN-P, abr. 2015.
- [2] NFPA, “Code requirements for identification of fire hazards of materials NFPA 704”. City of Milwaukee - Department of Building Inspection.
- [3] Petruzella Frank D., *Programmable Logic Controllers*, 4 Ed. NewYork USA: McGrawHill, 2011.
- [4] COVENIN, “Granos de cacao (2da revisión) COVENIN 50:1995”. Norma Venezolana - COVENIN, 1995.
- [5] Kasberger Johannes, “Advantages of Industrial Ethernet - Comparison of Modbus over TCP/IP and PROFINET”, Tesis de grado, Technische Universität Wien, Austria, 2011.
- [6] CPNI, “Securing the move to IP-based SCADA/PLC networks”, CPNI, British Columbia, Canada, Report, nov. 2011.
- [7] Tommila, et al., “Next generation of industrial automation. Concepts of a component-based control system.”, VTT, Helsinki, Finland, Research notes G3SU00709, jul. 2005.
- [8] Siemens A.G., “WinCC flexible 2008 Comunicación, 1ra parte”, Siemens AG, Nürnberg, Alemania, Manual de usuario 6AV6691-1CA01-3AE0, jul. 2008.
- [9] OPC Foundation, “OPC Unified Architecture. The interoperability standard”, OPC UA Foundation, Brochure, 2013.
- [10] Bangemann Thomas, et al., “State of the art in industrial automation”, en *Industrial Cloud-based cyber-physical systems*, Suiza: Springer, 2014, pp. 23–47.
- [11] Weber Ingo, “Normen für Industrie 4.0”, feb-2015.

- [12] Dym Clive L., Little Patrick, Orwin Elizabeth J., *Engineering design. A project-based introduction.*, 4 Ed. USA: Wiley, 2013.
- [13] Park J., Mackay S., Wright E., *Practical data communications for instrumentation and control*, Primera Edición. Oxford UK: Elsevier, 2003.
- [14] IEEE Computer society, “IEEE Standard for Ethernet”. IEEE Standards Association, dic-2012.
- [15] Cisco y/o afiliados, “Ethernet (IEEE 802.3)”, en *Cisco active network abstraction 3.7 Reference Guide*, San José CA, USA, 2010, pp. 443–469.
- [16] Peng Zhang, “Advanced Industrial Control Technology”, en *Advanced Industrial Control Technology*, Primera Edición., Oxford UK: Elsevier, 2010, pp. 375–399.
- [17] Purdue Research Foundation, *A reference model for computer integrated manufacturing (CIM). A description from the viewpoint of industrial automation.*, 2 Ed. North Carolina, USA: ISA, 1991.
- [18] Radhakrishnan P., et al., *CAD CAM CIM*, 3 Ed. New Age, 2008.
- [19] Scholten Bianca, “Integrating ISA-88 and ISA-95”, *ISA EXPO 2007*, p. 13, oct-2007.
- [20] OPC Foundation, “OPC Unified Architecture. The universal communication platform for standardised information models”. OPC Foundation, 2014.
- [21] Byres research, “OPC Security WhitePaper #2. OPC Exposed”, British Columbia Institute of Technology, WhitePaper, nov. 2007.
- [22] Siemens Service & Support, “Setting up a secure VPN connection between SCALANCE S and SSC using a static IP address. SCALANCE S, SOFNET Security Client”. sep-2014.
- [23] Siemens Support, “Setting up a demilitarized zone with the aid of the SCALANCE S623”, Siemens Industry Support, Application Description 22376747, ene. 2013.

## BIBLIOGRAFÍAS

Peng Zhang, “Advanced Industrial Control Technology”, en *Advanced Industrial Control Technology*, Primera Edición., Oxford UK: Elsevier, 2010, pp. 375–399.

Kasberger Johannes, “Advantages of Industrial Ethernet - Comparison of Modbus over TCP/IP and PROFINET”, Tesis de grado, Technische Universität Wien, Austria, 2011.

Rousis Damon A., “A Pareto frontier intersection-based approach for efficient multiobjective optimization of competing concept alternatives”, Tesis de Doctorado, Georgia Institute of Technology, USA, 2011.

Okhravi, H. Nicol, D., “Applying trusted network technology to process control systems”, en *Critical infrastructure protection II*, vol. 290, Boston MA, USA: Springer, 2008, pp. 57–70.

Purdue Research Foundation, *A reference model for computer integrated manufacturing (CIM). A description from the viewpoint of industrial automation.*, 2 Ed. North Carolina, USA: ISA, 1991.

Radhakrishnan P., et al., *CAD CAM CIM*, 3 Ed. New Age, 2008.

Cisco y/o afiliados, “Cisco Ethernet to the factory solution: securing today’s global networks in industrial environments”, *www.thomasnet.com*, ene-2008. [En línea]. Disponible en: *www.thomasnet.com*.

NFPA, “Code requirements for identification of fire hazards of materials NFPA 704”. City of Milwaukee - Department of Building Inspection.

CODELECTRA, “Código eléctrico nacional. FONDONORMA 200:2004 (7a Revisión)”. 2004.

Cisco y/o afiliados, “Converged plantwide Ethernet design and implementation guide”, Rockwell Automation, Implementation Guide ENET-TD001E-EN-P, sep. 2011.

Cisco y/o afiliados, “Design considerations for securing industrial automation and control systems networks”, Rockwell Automation, WhitePaper ENET-WP031A-EN-E, jun. 2013.



Tetra Tech, “Draft Project Plan. SCADA System Improvements”, Water Resources Commissioner - Oakland County, Oakland MI, USA, Draft Project Plan TBD, abr. 2013.

Power Liam, “Enabling embedded UA security and discovery”, Matrikon OPC, 2014.

Herrmann Jeffrey W., *Engineering decision making and risk management*. New Jersey, USA: Wiley, 2015.

Dym Clive L., Little Patrick, Orwin Elizabeth J., *Engineering design. A project-based introduction.*, 4 Ed. USA: Wiley, 2013.

Prof. Rosado, “Entornos SCADA. Introducción a WinCC”, *Microsoft Word - IntroWinCC.doc - IntroWinCC.pdf*. [En línea]. Disponible en: [www.uv.es/rosado/courses/CINS](http://www.uv.es/rosado/courses/CINS).

Allen Bradley, “Ethernet design considerations for control system networks. An introduction”. Rockwell Automation, nov-2007.

Cisco y/o afiliados, “Ethernet (IEEE 802.3)”, en *Cisco active network abstraction 3.7 Reference Guide*, San José CA, USA, 2010, pp. 443–469.

Byres Eric, Karsch J., Carter J., “Firewall deployment for SCADA and process control networks. Good practice guide”, Centre for the Protection of National Infrastructure, British Columbia, Canada, Report, feb. 2005.

Rockwell Automation, “Flexible solutions for your supervisory control and data acquisition needs”, Rockwell Automation, Application Guide AG-SG001G-EN-P, abr. 2015.

COVENIN, “Granos de cacao (2da revisión) COVENIN 50:1995”. Norma Venezolana - COVENIN, 1995.

Project Management Institute, *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del PMBOK)*, 5 Ed. USA: Project Management Institute, Inc., 2013.

IEEE Computer society, “IEEE Standard for Ethernet”. IEEE Standards Association, dic-2012.

IEC, “Industrial communication networks - fieldbus specifications - Part 1: overview and guidance for the IEC 61158 and IEC 61784 series”, IEC, withdrawn, ago. 2010.

Cisco y/o afiliados, “Industrial Ethernet: a control engineer’s guide”, *Whitepaper\_c11-465264 - Cisco - Industrial Ethernet - A Control Engineers Guide*, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://scadahacker.com/>.

Scholten Bianca, “Integrating ISA-88 and ISA-95”, *ISA EXPO 2007*, p. 13, oct-2007.

Siemens Service & Support, “Licenses for WinCC flexible and Panels. FAQ”, p. 16, feb-2015.

Barrios Maritza, *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales*, 3 Ed. Caracas, Venezuela: FEDUPEL, 2006.

Tommila, et al., “Next generation of industrial automation. Concepts of a component-based control system.”, VTT, Helsinki, Finland, Research notes G3SU00709, jul. 2005.

Weber Ingo, “Normen für Industrie 4.0”, feb-2015.

Byres research, “OPC Security WhitePaper #2. OPC Exposed”, British Columbia Institute of Technology, WhitePaper, nov. 2007.

L. S. Mahnke W., “OPC Unified Architecture. The future standard for communication and information modeling in automation”, *ABB Review*, pp. 53–61, mar-2009.

OPC Foundation, “OPC Unified Architecture. The interoperability standard”, OPC UA Foundation, Brochure, 2013.

OPC Foundation, “OPC Unified Architecture. The universal communication platform for standardised information models”. OPC Foundation, 2014.

Park J., Mackay S., Wright E., *Practical data communications for instrumentation and control*, Primera Edición. Oxford UK: Elsevier, 2003.

Landryova Lenka, Koziorek Jiri, “Process data visualization and monitoring using internet”, *Proceedings of International Carpathian Control Conference*, p. 6, 2002.

PI, “PROFINET system description”, PROFIBUS Nutzerorganisation, Alemania, 4.132, jun. 2011.

Petruzella Frank D., *Programmable Logic Controllers*, 4 Ed. NewYork USA: McGrawHill, 2011.

Saaty Thomas L., “Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. The Analytic Hierarchy/Network Process”, *RACSAM*, vol. 102, núm. 2, pp. 251–318, 2008.

Rockwell Automation, “SCADA System”, Allen Bradley, USA, Application Guide AG-UM008C-EN-P, feb. 2005.

CPNI, “Securing the move to IP-based SCADA/PLC networks”, CPNI, British Columbia, Canada, Report, nov. 2011.

Siemens Support, “Setting up a demilitarized zone with the aid of the SCALANCE S623”, Siemens Industry Support, Application Description 22376747, ene. 2013.

Siemens Service & Support, “Setting up a secure VPN connection between SCALANCE S and SSC using a static IP address. SCALANCE S, SOFNET Security Client”. sep-2014.

Bangemann Thomas, et al., “State of the art in industrial automation”, en *Industrial Cloud-based cyber-physical systems*, Suiza: Springer, 2014, pp. 23–47.

Weilkiens, Tim., *Systems Engineering with SysML/UML. Modeling, Analysis, Design*, Primera Edición. MA, USA: Elsevier, 2007.

Wilamowski Bogdan M., Irwin D, *The Industrial Electronics Handbook. Industrial Communication Systems*, 2 Ed. Boca Ratón FL, USA: Taylor & Francis Group LLC, 2011.

Pugh Stuart, “The systems engineering tool box”. 2009.

Siemens A.G., “WinCC flexible 2008 Comunicación, 1ra parte”, Siemens AG, Nürnberg, Alemania, Manual de usuario 6AV6691-1CA01-3AE0, jul. 2008.

## GLOSARIO

**Defensa en profundidad:** Estrategia de defensa para redes que se apoya en múltiples defensas sucesivas; al menos una por cada capa OSI.

**Dispositivo PROFINET IO:** Componentes para redes PROFINET IO que se conectan a Ethernet mediante un controlador IO, son sensores/actuadores distribuidos en planta/campo; su rol es similar al de un esclavo PROFIBUS.

**Enlace de red:** Dispositivo para proveer compatibilidad lógica o física entre redes y potenciales participantes.

**Fundación OPC:** Organización dedicada al mantenimiento y administración de estándares para datos industriales, compatibles con sistemas operativos Microsoft.

**Grupo electrógeno:** Máquina que utiliza un motor de combustión interna para motorizar un generador eléctrico.

**Internet:** Red de alcance global descentralizada, la cual permite interconectar redes.

**Líneas de producción:** Sistemas de manufactura con múltiples estaciones, donde el material procesado se conduce siempre a través de una misma ruta.

**Protocolo S7:** Protocolo propietario para redes industriales, desarrollado por la empresa Siemens, el cual se utiliza en componentes para automatización SIMATIC.

**Proyecto HMI:** Archivo digital con el diseño que permite proveer (mediante aplicaciones que se ejecutan en paneles programables) a los equipos para control de procesos, con una interfaz humano-máquina.

**Red de campo:** Red orientada a las aplicaciones de control en entornos industriales; estas redes sirven como enlace entre centros para procesamiento de señales y dispositivos (sensores y actuadores) instalados sobre o alrededor del proceso.

**Red informática:** Conjunto de computadores y otros equipos interconectados, a través de un medio físico para transmisión de datos, con el fin de compartir información, recursos y servicios.

**Red insegura:** Red donde no es siempre posible validar de forma inequívoca la identidad de uno o más de sus participantes; los datos que transitan por estas redes, deben ser protegidos contra accesos y manipulaciones indebidas.

**Red perimetral (DMZ):** Red informática capaz de brindar un acceso seguro y controlado a los servidores que participan de ella; mantienen lógica y físicamente aisladas redes inseguras y redes locales, tomando el rol de intermediarias.

**Sala de control:** Lugar donde se encuentran instalados equipos para la supervisión y control de procesos.

**Seguridad a nivel de red:** Mecanismos y políticas para la protección de los datos que circulan a través de redes, que se implementan a nivel de capa de red.

**Sistema SCADA:** Sistema informático para supervisión y operación, mediante estaciones maestras, de procesos automatizados a través de componentes para la adquisición de datos; un usuario de estaciones SCADA es capaz de afectar todo el funcionamiento de un sistema de automatización.

**Tiempo real estricto:** Es un requerimiento de algunos sistemas industriales, cuyo buen funcionamiento depende de las redes sean capaces de transmitir datos a intervalos de tiempo determinista.

## **ANEXOS**